

Teemu Pyykkönen

**TUOTANNON SISÄLOGISTIIKAN
HALLINNAN DIGITALISOINTI**
WMS-järjestelmällä tuottavuus korkeammaksi

Kone- ja tuotantotekniikan laitos
Diplomityö
Syyskuu 2019

TIIVISTELMÄ

Teemu Pyykkönen: Tuotannon sisälogistiikan hallinnan digitalisointi
Diplomityö
Tampereen yliopisto
Konetekniikan diplomi-insinöörin tutkinto-ohjelma
Syyskuu 2019

Diplomityö tehtiin suomalaiseseen valmistavan teollisuuden yritykseen, joka pyrkii nostamaan tuotantokapasiteettiaan 50 % vuosien 2017-2022 välillä. Tavoitteeseen pääsemiseksi tarvitsee monia kohteita kehittää, joista yhtenä kokonaisuutena on tuotannon digitalisointi. Yrityksessä on vuonna 2017 aloitettu tuotannonohjausjärjestelmän käyttöönotto, joka kestää aina vuoteen 2020 asti. Varastohallintaohjelmiston käyttöönotto tapahtuu osana MES-käyttöönottoprojektia.

Yrityksessä on havaittu tuotantomäärien kasvaessa materiaalinhallinnan olevan yhä haasteellisempaa ilman siihen tarkoitettua tietojärjestelmää. Yrityksessä tavoitellaan myös nykyistä tehokkaampaa toimintaa pyrkimällä tekemään tuotteista laadukkaimpia ja vähentämällä samanaikaisesti tuotannosta syntyviä jätteitä. Tuotannon parempi ohjaaminen vaatii ajantasaisempaa ja luotettavampaa tietoa materiaaleista ja niiden sijainneista. Tietojen kirjaaminen, ylläpito ja jakaminen reaaliaikaisesti kaikkien sidosryhmien saataville on haasteellista, kun se tehdään manuaalisesti ilman digitaalisia ratkaisuja.

Tässä diplomityössä tehtiin esiselvitys varastohallintajärjestelmän käyttöönottoa varten. Tutkimuksessa lähdettiin liikkeelle nykytilan haasteiden selvittämisestä. Toisessa osassa työtä tutkittiin erään varastohallintajärjestelmän kykyjä vastata esiin tulleisiin haasteisiin. Tutkimuskysymyksiksi muodostuivatkin: ”Mitkä ovat nykytilan haasteet varastohallinnassa komponenttivalmistuksen ja kokoonpanon välisessä logistiikassa?” ja ”Miten WMS-järjestelmällä pystytään ratkomaan haasteita?” Työssä käytettyjä tiedonhankintamenetelmiä olivat haastattelu, havainnointi ja kirjalliseen materiaaliin tutustuminen.

Tutkimustulosten perusteella valittiin kolme suurinta haastetta varastohallinnassa. Näihin pyrittiin löytämään mahdollisimman toimiva ja tehokas ratkaisu WMS-järjestelmää hyödyntäen. Järjestelmästä oli käytössä testiversio, jolla toiminnallisuuksia pystyi testaamaan ja rajoituksia tutkimaan. Ohjelmiston käyttämisestä järjestettiin myös muutamia esittelytilaisuuksia, joissa kartoitettiin loppukäyttäjien toiveita ja näkemyksiä ohjelmistosta ja sen käyttämisestä.

Lopputuloksena tutkimuksista on alustava ohjelmiston käyttöönottosuunnitelma. Tutkimuksen aikana esiin nousseita ohjelmiston kehityskohteita on myös esitetty ohjelmistontarjoajalle. Jatkuvana diplomityölle ohjelmistoa tulee kehittää, ennen kuin se voidaan ottaa täysipäiväiseen tuotantokäyttöön.

Avainsanat: WMS, tuotantoautomaatio, LEAN, tuhlaukset, tuotannonohjaus, sisälogistiikka

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin OriginalityCheck –ohjelmalla.

ABSTRACT

Teemu Pyykkönen: Digitalization of production internal logistics management
Master of Science Thesis
Tampere University
Master's Degree Programme in Mechanical Engineering
September 2019

The purpose of this thesis was to make a preliminary study for a warehouse management system for a Finnish manufacturing company. The company is trying to increase its production capacity by 50 % during 2017-2022. It is necessary to digitalize the production processes to get more accurate control of production and material flows. Manufacturing Execution System (MES) start-up was started in 2017 continuing until 2020. One part of the project is to deploy Warehouse Management System (WMS).

In the company material flow management without an information system is going to be more difficult as production volumes continuously increase. There is also a goal to manufacture products with even higher quality, less waste and faster than nowadays. Better production planning and control needs up-to-date and reliable information about material flows in the plant. It is very challenging to document and share this information real-time to all stakeholders when done manually without any digital solutions.

In this thesis, study about the deployment of a warehouse management system was made. Research was started by investigating challenges in a current way of working. In second part of the work was examined how one warehouse management software can solve these challenges. Research questions were: "What are current challenges of warehouse management between component manufacturing and assembly?" and "How these challenges can be solved with WMS?"

According to research results, three main problems were selected. The aim was to find an effective and efficient solution for those challenges. The functionalities and limitations of the software were examined by using a test version of the software. There were a couple of meetings where end-users could test the software and tell their expectations and ideas.

The result of the research is a suggestion on how to use the software and what are the limitations still in software. The software development targets that emerged during the research have also been presented to the software provider. The software needs still development before it can be deployed to the production.

Keywords: WMS, production automation, LEAN, waste, production control, internal logistics

The originality of this thesis has been checked using the Turnitin OriginalityCheck service.

ALKUSANAT

Syksyllä 2018 alkanut intensiivinen työnhaku palkittiin diplomityöpaikalla, jossa työt alkoivat tammikuun 2019 lopussa. Vuoden alkuun sain suoritettua viimeiset yliopisto-opintoihin kuuluvat kurssit. Toukokuussa 2019 minusta tuli myös Vilman aviomies, jolloin edessä oli jälleen suuria mullistuksia. Syyskuussa sain myös diplomityöni niputettua palautettavaan kuntoon, ja opiskelu-uran loppu alkoi olla realismia.

Diplomityön kautta olen päässyt tutustumaan mielenkiintoiseen tuotantoympäristöön ja seuraamaan läheltä sen toimintaa ja kehitysprojekteja. Työni kautta olen oppinut paljon asioita automaatiosta, tuotannosta, leanista, projekteista, käyttöönotoista ja tuotannon tietojärjestelmien integraatioista. Samalla olen saanut taas hiukan lisää kokemusta, josta varmasti on hyötyä tulevaisuuden työelämässä. Diplomityön tekeminen oli haasteellinen, mutta suoraviivainen prosessi, jonka aikana koettiin monenlaisia vaiheita: välillä edettiin vauhdikkaasti ja välillä meni päiviä, jolloin tuntui siltä, että työ ei edisty lainkaan.

Haluan kiittää yritystä mahdollisuudesta tehdä opintojen lopputyö mielenkiintoisesta aiheesta. Haluan kiittää erityisesti Aleksia onnistuneesta ohjaamisesta diplomityöni aikana sekä lukuisista vastauksista loputtomiin ja tyhmiinkin kysymyksiin. Haluan kiittää myös työni ohjaajia ja tarkastajia Minna Lanzia ja Hasse Nylundia, jotka ovat pyyteettömästi ohjanneet työn tekemistä oikeaan suuntaan. Erityiskiitokset vaimolleni ja perheelleni tuesta ja avusta koko opintojen ajan. Jo ala-asteelta alkanut ja miltei 20 vuotta kestänyt opiskelijastatus vaihtuu valmistumisen myötä, mutta oppiminen ja itsensä kehittäminen ei missään nimessä saa loppua tähän.

Tampereella, 5.9.2019

Teemu Pyykkönen

SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO	1
1.1 Yrityksen kuvaus	2
1.2 Työn tavoite	3
1.3 Aiheen rajausta ja työn rakenne	5
2. TUOTANTOPROSESSIN TEORIAA	6
2.1 Tuotantoprosessin käsitteitä ja periaatteita	7
2.1.1 Erilaiset tuotantotavat	7
2.1.2 Läpäisy aika	8
2.1.3 Tuhlauksen muodot	9
2.1.4 Tuottavuus	10
2.2 Varaston hallinnointi	10
2.2.1 Materiaalien tunnistusteknologiat	12
2.2.2 Varaston logistiikka	16
2.3 Tuotantoyrityksen tietojärjestelmien integrointi	16
2.4 Innovaation kehitysprosessi	19
2.5 Tutkimusmenetelmät	20
2.5.1 Tiedonhankintamenetelmistä	22
2.5.2 Haastattelu tiedonhankintamenetelmänä	23
2.5.3 Havainnointi tiedonhankintamenetelmänä	25
3. NYKYTILAN SELVITYS	27
3.1 Kohdeyrityksen tuotantoprosessi	27
3.2 Komponenttien materiaalivirta	34
3.2.1 Varastointiyksiköt ja -nimikkeet	35
3.2.2 Varastoalueet kohdeyrityksessä	36
3.3 Tuotantoon liittyvät tietojärjestelmät kohdeyrityksessä	38
3.4 Keskeiset haasteet komponenttivarastoinnissa	39
3.5 Haastattelukertomus	41
4. TUTKITTAVA OHJELMISTO	44
4.1 Ohjelmiston tuotantokäyttö	45
4.2 Varastointiyksiköiden ja -alueiden tunnistaminen	46
4.3 Kehitysehdotukset ohjelmistoon	47
4.4 Poikkeukset ja ongelmatilanteet	50
4.5 Ohjelmiston käyttöönottoprosessi	51
5. TUTKIMUSTULOKSET	54
6. JOHTOPÄÄTÖKSET	57
6.1 Tutkimuksen loppupäätelmät	58
6.2 Jatkokehitystarpeita	60
6.2.1 Automaatioasteen nosto	60
6.2.2 Tehtaan layoutin kehittäminen	61

6.2.3 Vaihtoehtoisia toimintatapoja	61
7. YHTEENVETO.....	63
LÄHTEET	65
LIITE A: PROSESSIKAAVIOT.....	68
LIITE B: HAASTATTELUKYSYMYKSET	69
LIITE C: VARASTOINTIYKSIKÖT	70
LIITE D: KOKOONPANON MATERIAALIPULAT	71
LIITE E: MATERIAALIERÄN TUNNISTETARRAN TIEDOT	72
LIITE F: HAASTATTELUAIKATAULU	73
LIITE G: HAVAINNOINTIPÄIVÄKIRJA	74
LIITE H: VARASTOPAikkojen pohjapiirros.....	75

KUVALUETTELO

<i>Kuva 1: Tutkimusmenetelmät.....</i>	<i>4</i>
<i>Kuva 2: Läpäisyajan rakenne, mukaillen lähdettä [7].</i>	<i>8</i>
<i>Kuva 3: Yleisimmät identifiointimenetelmät, mukaillen lähdettä [26].</i>	<i>13</i>
<i>Kuva 4: Stage-Gate malli, mukaillen lähdettä [38].</i>	<i>19</i>
<i>Kuva 5: Tutkimusten luokittelu. Perustuu lähteeseen [41].</i>	<i>22</i>
<i>Kuva 6: Prosessikaavio, tuotetyyppi 1.....</i>	<i>31</i>
<i>Kuva 7: Prosessikaavio, tuotetyyppi 2.....</i>	<i>32</i>
<i>Kuva 8: Järjestelmän toiminnallisuudet, mukaillen lähdettä [47].</i>	<i>44</i>

TAULUKKOLUETTELO

<i>Taulukko 1: RFID- ja viivakoodijärjestelmien vertailu, pohjautuen lähteeseen [26].....</i>	<i>15</i>
<i>Taulukko 2: ISA-95 tasot pohjautuen lähteeseen [33].</i>	<i>18</i>
<i>Taulukko 3: Varastoalueiden värit.....</i>	<i>38</i>
<i>Taulukko 4: Järjestelmien tiedot.....</i>	<i>48</i>
<i>Taulukko 5: Karkeat hinta-arviot</i>	<i>52</i>
<i>Taulukko 6: Yhteenveto tutkimuksesta.....</i>	<i>56</i>

LYHENTEET JA MERKINNÄT

AIDC	Automatic Identification and Data Capture, automaattinen tunnistus ja tiedonkeräys
ANSI	American National Standards Institute
APS	Advanced Planning and Scheduling, tuotannonsuunnittelujärjestelmä
Auto-ID	Automatic Identification Procedure, automaattinen tunnistus
DCS	Distributed Control System, hajautettu ohjausjärjestelmä
ERP	Enterprise Resource Planning, toiminnanohjausjärjestelmä
ID	Identification Number, tunnistenumero
ISA	International Society of Automation
JIT	Just-in-Time, juuri oikeaan tarpeeseen
KPI	Key Performance Indicator, suorituskykymittari
MES	Manufacturing Execution System, tuotannonohjausjärjestelmä
MTO	Make-to-Order, tilauksesta valmistus
OEM	Original Equipment Manufacturer, alkuperäinen laitevalmistaja
PLC	Programmable Logic Controller, ohjelmoitava logiikka
QR	Quick Response code, ruutukoodi
RFID	Radio Frequency Identification, radiotaajuinen etätunnistus
SCADA	Supervisory Control and Data Acquisition, valvomo-ohjelmisto
Tagi	RFID-teknologiassa käytettävä tunniste
WMS	Warehouse Management System, varastohallintajärjestelmä

1. JOHDANTO

Yrityksen menestyksen avain on kyky tuottaa palveluita ja tuotteita asiakkaille taloudellisesti kannattavalla tavalla. Yritysten tarvitsee olla joustavia ja reagointikykyisiä vastataksien asiakkaiden kysyntään. [1, s. 4] Asiakkaat arvostavat tuotteidensa ominaisuuksia, korkeaa laatua, kilpailukykyistä hintaa, mutta yhä enenevässä määrin myös toimitusnopeutta ja -varmuutta [2, s. 356]. Muutos on jatkuvaa, ja kyky reagoida muutoksiin kilpailijoita paremmin parantaa yrityksen mahdollisuuksia pärjätä kansainvälisessä kilpailussa. Muutoksiin reagoiminen edellyttää nopeaa tiedonkulkua yrityksen eri osastojen välillä vaivattomasti ja nopeasti. [3] Tiedon nopea siirtyminen tehtaan lattiatasolta tuotannon ja liiketoiminnan ohjausjärjestelmiin edellyttää digitaalisia integraatioita eri osastojen välille [4].

Useimmilla aloilla hyödykkeiden kysyntä vaihtelee ja yrityksen pitääkin pystyä reagoimaan kysynnän vaihteluun mahdollisimman tehokkaasti. Yleinen keino tasata odottamattomia vaihteluita on kompensoida niitä varastoilla. Myös tuotannon sisällä usein tarvitaan varastointia esimerkiksi eri tahdissa toimivien työpisteiden virtauttamiseksi. Varastot yhtäältä sitovat pääomaa ja paljon fyysistä tilaa, mutta toisaalta niiden olemassaolo on joskus välttämätöntä. Valmistusprosessin keskeinen tavoite on saada materiaali virtaamaan tilauksesta toimitukseen. Valmistuksen aikana raaka-aineista jalostuu tuote, jonka arvo asiakkaan näkökulmasta lisääntyy [5, s. 15]. Tuotantoprosessin hallinta on sitä helpompaa mitä vähemmän vaihtelua tuotannossa esiintyy. Sekä tuottavuuden että laadun vaihtelua voidaan pitää ongelmana. [1, s. 3]

Yrityksen tavoitteena on toimittaa asiakkaalle se, mitä tarvitaan, milloin tarvitaan ja paljonko tarvitaan. [6, s. 3] Lean-filosofian mukaan tuotantoprosessia pitää tarkastella asiakkaan näkökulmasta, kysymällä ensiksi ”Mitä asiakas haluaa tästä prosessista?”. Asiakkaita eivät ole pelkästään yrityksen ulkopuoliset, vaan myös yrityksen sisäiset asiakkaat. Prosessissa tulee keskittyä asiakkaalle arvoa tuottaviin ja minimoida arvoa tuottamattomia prosessin vaiheita. [7, s. 27] Arvoa tuottamatonta aikaa voidaan vähentää esimerkiksi varastoiden paremmalla ohjaamisella. Ohjaamiseen tarvitaan tiedot varastossa olevista tavaroista ja niiden sijainnista. Mitä tarkemmin tuotteet on yksilöity ja dokumentoitu, sen tarkemmin on mahdollista tietää varastojen saldot. Yhtäältä tarkempi doku-

mentointi vie aikaa, mutta toisaalta etsimiseen käytetty aika pienenee. Varastojen sijainnit on välttämätöntä määritellä mahdollisimman tarkasti. Edellytyksenä on myös, että jokaisen muutoksen yhteydessä tiedot päivitetään.

Tuotantoprosessin ohjaaminen on monimutkainen prosessi, johon liittyy paljon muuttujia. Päivittäin ratkottavia kysymyksiä ovat esimerkiksi kuinka isoja varastoja pidetään, kuka varastoista on vastuussa tai mitä pitäisi tehdä varastosaldojen tasapainottamiseksi. Pitemmän aikavälin kehitysaskelia miettiessä tulisi huomioida myös, miksi varastoja pidetään tai mitkä tekijät varaston saldoihin vaikuttavat. [8, s. 1-2] Tuotantoa suunniteltaessa ja ohjattaessa huomioitavia seikkoja ovat muiden muassa koneiden fyysiset rajoitteet, varastojen saldot, raaka-aineiden ja materiaalien saatavuus, tuotteiden kysyntä ja mahdolliset lyhyen aikavälin muutokset kysynnässä sekä yrityksen strategiasta kumpuavat vaatimukset. Samaan aikaan tuotantoresursseja tulisi hyödyntää mahdollisimman tehokkaasti ja kehittää tuotantoa parempaan suuntaan.

1.1 Yrityksen kuvaus

Kohdeyritys on osa kansainvälisesti toimivaa konsernia, joka valmistaa korkealaatuisia kappaletavaratuotteita vaativiin olosuhteisiin vaihteleviin käyttökohteisiin. Yrityksen tuotekehitys, markkinointi, hallinnointi ja osa tuotannosta sijaitsevat Suomessa, mutta tuotantolaitoksia on myös ulkomailla. Kohdeyrityksen liikevaihto vuonna 2018 oli noin 180 miljoonaa euroa, joka oli karkeasti kymmenes koko konsernin liikevaihdosta. Henkilöstöä yrityksen palveluksessa vuoden 2018 lopussa oli reilut 200 henkilöä. Tärkeimmät markkina-alueet ovat Pohjoismaat, Eurooppa ja Venäjä. Yrityksellä on myyntipisteitä yli 60:ssa maassa, mutta tuotteita käytetään kaikkialla maailmassa. Yrityksen tuotteita myydään ammattikäyttöön yksityisasiakkaille sekä OEM-asiakkaille. Globaalissa markkinassa yritys on pieni toimija, mutta tietyillä markkinasegmenteillä selkeä edelläkävijä.

Yrityksen tavoitteena on kasvattaa liikevaihtoa 50 % vuoteen 2022 mennessä. Suomen tuotantolaitoksen laajentaminen on hyvin haasteellista jo täyteen rakennetun tontin vuoksi, joten isomman liikevaihdon vaatimaa suurentunutta tuotantokapasiteettia pitää hakea nykyistä tuotantoa tehostamalla. Tavoitteen saavuttamiseksi tarvitaan myös uutta henkilöstöä, uusia tuotantokoneita, parempaa tuotannonohjaamista ja kehittyneempiä tuotantoprosesseja. Strategiana on edelleen olla laadukkaista tuotteistaan tunnettu brändi, ja päämääränä on markkinajohtajuuden kasvattaminen nykyistä useampiin tuotteisiin. Korkeiden vaatimusten erikoistuotteiden valmistus halutaan kuitenkin edelleen pitää Suomessa. Tuotteet itsessään asettavat haasteita toimitusketjun suunnittelulle ja hallinnalle, sillä kaikki tuotteisiin vaadittavat materiaalit ja komponentit eivät kestä pitkiä varastointiaikoja.

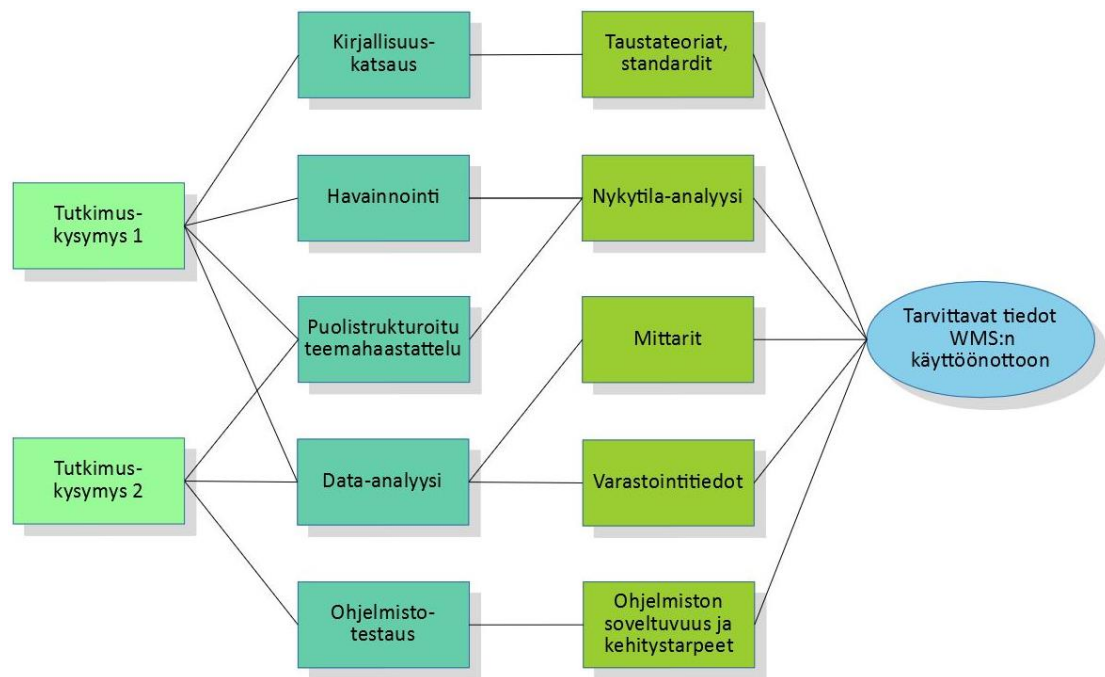
Yritys valmistaa tuotteensa make-to-order (MTO) -tyyppisesti sarjatuotantona. Valmiit tuotteet varastoidaan välivarastoon, josta ne edelleen kuljetetaan jälleenmyyjille ja asiakkaille. Tuotteiden suuren koon ja hankalan käsiteltävyyden vuoksi varastointia ei tehdä tehtaan tiloissa. Lopputuotevarastossa tehdään myös tuotteiden viimeiset varustelut, mikäli asiakas on sellaisia tuotteeseensa tilannut. Komponentit tuotteisiin tilataan sarjakohdittaisesti, ja komponentit valmistetaan tavanomaisesti 1-3 päivää ennen kokoonpanoa. Kokoonpanosarjan valmistuksen alkaessa komponenttien tulee olla valmiina. Siksi joitakin komponentteja on välttämätöntä varastoida. Tuotteita on jonkin verran moduloitu siten, että samoja komponentteja voidaan käyttää useampaan eri tuotteeseen.

1.2 Työn tavoite

Tämän työn tavoitteena on tehdä esiselvitys varastohallintajärjestelmän käyttöönottoa varten. WMS- eli varastohallintajärjestelmällä pyritään parantamaan tehtaan tuottavuutta vakioimalla tuotantoprosesseja ja lyhentämällä tuotteiden läpimenoaikoja. Tuottavuuden kasvulla haetaan ennen kaikkea isompia tuotantomääriä, koska yrityksen tuotteille olisi enemmän kysyntää kuin tällä hetkellä on mahdollista valmistaa. Tutkimus koostuu kahdesta osasta, ensimmäisessä osassa perehdytään yrityksen tuotteiden valmistusprosessin, nykytilaan, tutkittavan osaston toimintatapoihin ja nykyisiin haasteisiin. Työn toisessa osassa tutkitaan erään varastohallintaohjelmiston mahdollisuuksia, rajoitteita ja kehitystarpeita kohdeyrityksen näkökulmasta. Tutkimuskysymykset ovatkin:

- Tutkimuskysymys 1: Miten komponenttivalmistuksen ja kokoonpanon välinen materiaalivirta toimii ja mitä haasteita siihen liittyy?
- Tutkimuskysymys 2: Miten varastohallintaohjelmistolla voidaan vastata ensimmäisen osan tutkimuksessa esiin tulleisiin haasteisiin?

Seuraavaksi esitellään eri tutkimusmenetelmien linkittyminen tutkimuskysymyksiin.



Kuva 1: Tutkimusmenetelmät.

Kuvassa 1 on eritelty työssä käytetyt tiedonhankintametodit, ja esitetty, mihin tutkimuskysymykseen milläkin metodilla on haettu tietoa. Taustateorioihin ja sovellettaviin standardeihin perehdyttiin alan kirjallisuuden avulla. Nykytilan selvittämistä varten järjestettiin puolistrukturoituja teemahaastatteluja, mutta samalla haastateltavilta kyseltiin toiveita ohjelmiston suhteen. Teemahaastatteluissa esiin tuoduille tiedoille ja teorioille haettiin vahvistusta havainnointikerroilla tuotantotiloissa. Nykytilanteen suorituskykykenttäreihin ja varastointitietoihin tutustuttiin analysoimalla nykyisistä tuotannon tietojärjestelmistä saatavilla olevaa dataa, erityisesti MES- ja APS-järjestelmistä. WMS-ohjelmiston soveltuvuutta tutkittiin ohjelman testiversion avulla, sekä perehtymällä ohjelmistosta tarjolla oleviin materiaaleihin.

Onnistuneen tutkimuksen tuloksena on tarvittava data ohjelmiston käyttöönottoa varten. Varastohallintaohjelmiston käyttöönotto itsessään on vaativa ja aikaa vievä prosessi, jota helpottaa hyvin tehty esiselvitys ja toisin päin: huonosti tehty esiselvitys haittaa käyttöönottoa. Työn tuloksia ei suoraan voida mitata esimerkiksi lyhentyneenä läpimenoaikana, mutta tuotannon tehostuminen ja hukan väheneminen suunnitelmien mukaan alkavat näkyä vuoden 2020 kolmannessa kvartaalissa. Tällöin uusi ohjelmisto on otettu laajasti tuotantokäyttöön ja sen käytöstä on saatu ensimmäiset kokemukset. Materiaalipulat myös pienenevät, kun hukassa olevia komponentteja ei enää tarvitse etsiä. Koska käyttöönotto tehdään 24 tuntia vuorokaudessa 7 päivänä viikossa toimivassa tuotantossa, on laitteiden asennukset, seisakit ja muut tuotantoa häiritsevät tekijät suunniteltava mahdollisimman hyvin etukäteen, jotta tuotannon häiriöt jäisivät mahdollisimman

vähäisiksi. Tämä vaatii hyvää perehtymistä, mutta myös perusteellista suunnittelua ja simulointia.

1.3 Aiheen rajausta ja työn rakenne

Kohdeyrityksessä tuotteisiin liittyviä varastoitavia nimikkeitä on kaikkiaan tuhansia erilaisia. Eri tiloissa varastoidaan jatkuvasti raaka-aineita, niistä jalostettuja materiaaleja, osakokoonpanoja, aihioita ja valmiita tuotteita. Osa varastoitavista nimikkeistä sijaitsee tehtaan kanssa samassa lokaatiossa, osa taas on sijoitettu muihin toimipisteisiin. Yllä mainittujen lisäksi varastoidaan tuotantoprosessin ylläpitämisessä vaadittavia hyödykkeitä, kuten tuotantokoneiden varaosia, työkaluja ja eri tuotteiden valmistamiseen liittyviä välineitä. Tässä työssä tutkitaan tuotantoprosessissa etenevien tuotteiden osakokoonpanojen ja materiaalien varastointia, joista käytetään työn myöhemmässä osassa nimitystä komponentti. Raaka-aineiden tai valmiiden tuotteiden varastoiden hallinnointia ei käsitellä. Materiaalivastaavien työnohjaukseen tai keräilyreittien optimointiin ei työssä oteta kantaa.

Työssä ei vertailla markkinoilla tarjolla olevia WMS-ratkaisuja, vaan yrityksessä on kehitetty erään ohjelmiston testiversio, johon perehdytään työn toisessa osassa. Tutkittava ohjelmisto on vielä kehitysasteella, minkä vuoksi se ei sellaisenaan tuotantokäyttöön sovellu. Pyrkimyksenä on tutkia työn toisessa osassa ohjelmistoon tarvittavat muutokset, ottamatta kuitenkaan kantaa vaadittavien muutosten teknisiin ratkaisuihin. Tutkimuksessa esille tulevia toiveita ja puutteita sekä ohjelman suhteen että yleisesti esitetään raportin loppuosassa. Tehtaan nykyisiä varastointipaikkojen sijainteja ei myöskään muuteta, vaikka niiden optimoinnilla olisi mahdollista lyhentää keräilyreittejä. Automaattisia kuljetusjärjestelmiä ei myöskään tutkita, vaan pyritään siihen, että nykyisiä resursseja paremmin hyödyntämällä tehostetaan tuotantoa.

Työn luvussa 2 taustoitetaan työssä käsiteltäviä ja esitettäviä teorioita sekä käsitellään toimintatutkimuksen kulkua ja tiedonhankinnan menetelmiä. Luvussa 3 esitellään kohdeyrityksen tuotantoprosesseja ja työn ensimmäisen osan tutkimuksessa esiin nousseita seikkoja. Luvun lopussa on myös oma alilukunsa suoritetuista haastatteluista, jotka olivat nykytilan selvityksen tärkein tiedonhankintamenetelmä. Luvussa 4 perehdytään tutkittavana olleeseen WMS-ohjelmistoon ja esitetään vaihtoehtoja sen käyttämiseen kohdeyrityksessä. Luvussa 5 esitellään lyhyesti tärkeimmät tutkimustulokset. Luvussa 6 on analysoitu tutkimustuloksia ja pohdittu niiden merkitystä. Luvussa 6 esitetään myös kehitysehdotuksia, jotka eivät kuulu tämän diplomityön aihealueeseen. Luvussa 7 on tiivistetty yhteenveto koko diplomityöstä.

2. TUOTANTOPROSESSIN TEORIAA

Tuotantoyrityksen päätoiminnot ovat tuotekehitys, tuotanto, markkinointi ja jälkimarkkinointi. Kaikkien näiden tulee olla korkealla tasolla, koska yhden ollessa selvästi muita heikompi, se haittaa muita yrityksen osia. Kaikkien osastojen on jatkuvasti kehitettävä omia toimintojaan paremmiksi ja pyrittävä paremmin palvelemaan sidosryhmiään eli yrityksen muita päätoimintoja. [5, s. 37] Kilpailun kasvaessa ja tuotteiden jatkuvasti kehityessä on yritysten pakko kehittää tuotantoprosessejaan säilyttääkseen kilpailukykyä. Tuotantoprosesseja kehittämällä voidaan muun muassa lyhentää läpimenoaikoja ja parantaa tuottavuutta. Digitalisaatio murtaa perinteisiä toimintatapoja ja haastaa uusien innovaatioiden kehittämiseen. Digitalisaatiosta on tullut uusi normi myös teollisuuteen, eikä yritys pärjää ilman digitaalisia ratkaisuja nykypäivän kilpailussa. Digitaalisilla ratkaisuilla on mahdollista helpottaa tiedonhankintaa ja -jakamista.

Asiakaspalvelu on yrityksen menestymisen avain. Asiakas on tyytyväinen, jos hyödyke täyttää sille asetetut vaatimukset ja odotukset. Asiakkaan palveleminen tarkoittaa tuotteen korkeaa laatua, lyhyttä läpäisyäikää ja korkeaa toimitusvarmuutta. Tuotteen toimitamisen lisäksi asiakas arvostaa palvelua toimituksen jälkeenkin, sekä mahdollisten laatuongelmien nopeaa korjausta. Tuotannolle jatkuvan parantamisen kohteita ovat muun muassa kustannustehokkuus, laatu, nopeus ja joustavuus, kun taas asiakkaan kannalta keskeistä on hyvä palvelukyky [2, s. 357]. Tavoitteet määräytyvät kustannustehokkuuden ja palvelukyvyn ristipaineissa. Kustannuksista säästämällä palvelukyky kärsii ja toisaalta taas liiallinen palvelukyky nostaa kustannuksetkin liian korkealle. Nykyisessä kilpailutilanteessa jatkuvasti tärkeämpänä teemana edellisten lisäksi on kestävä kehityksen huomioiminen kaikessa toiminnassa. [5, s. 37-40]

Modig ja Åhlström jakavat tuotantoprosessit resurssi- ja virtaustehokkaisiin [9]. Resurssitehokkuudessa fokus on resurssien mahdollisimman tehokkaassa käyttämisessä, jolloin kriittistä resurssia saadaan hyödynnettyä mahdollisimman hyvin. Virtaustehokkuudessa keskitytään yksikön mahdollisimman tehokkaaseen virtaamiseen prosessin läpi. Virtaustehokas prosessi ei kuormita avainresurssejaan yhtä tehokkaasti kuin resurssitehokas. Molemmat tehokkuudet ovat tärkeitä, mutta molempien saavuttaminen samanaikaisesti on hyvin haastavaa, ellei jopa mahdotonta. [9, s. 12-16] Tuotantoprosessiin kulunut aika voidaan jakaa kahteen luokkaan: arvoa tuottavaan ja arvoa tuottamattomaan. Lean-filosofian tarkoituksena on pyrkiä tunnistamaan ja eliminoimaan tuhlausta ja siten maksimoimaan tuotantoprosessin nopeutta ja joustavuutta. [10, s. 613]

2.1 Tuotantoprosessin käsitteitä ja periaatteita

Tässä luvussa tutustutaan lyhyesti tämän tutkimustyön kannalta keskeisiin yleisiin käsitteisiin ja periaatteisiin. Luvussa esitellään valmistavan teollisuuden yritysten erilaiset tuotantomuodot, joita yleisesti noudatetaan. Omissa aliluvuissaan avataan käsitteet läpäisy-aika ja tuottavuus. Viimeisimpänä alilukuna havainnollistetaan lean-filosofian mukaisia tuhlauksen muotoja, joita tällä diplomityöllä pyritään pienentämään. Lean-filosofia on Toyotalta alkunsa saanut johtamisfilosofia, joka keskittyy parannuksien saavuttamiseen tuhlausta vähentämällä. [11] Lean-filosofia on globaalisti käytetty muiden muassa valmistavan teollisuuden yritysten kehittämisessä. Leaniin sisältyy lukuisia erilaisia periaatteita ja toimintatapoja, joiden avulla tuotantoa pyritään kehittämään paremmaksi.

2.1.1 Erilaiset tuotantotavat

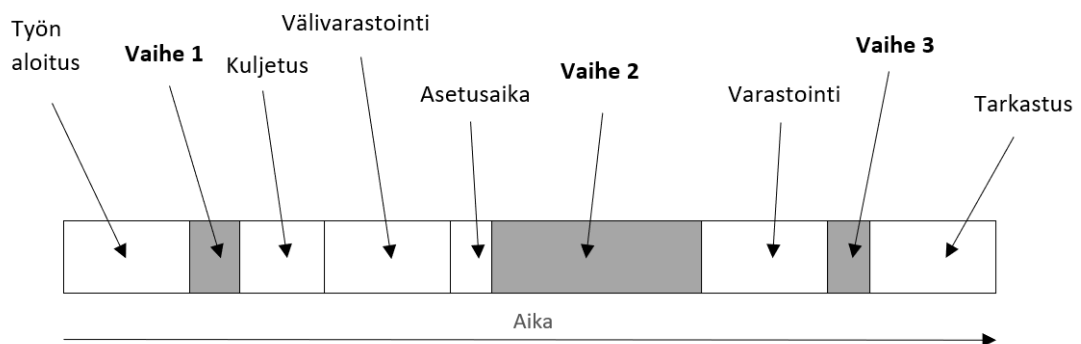
Monia valmistavan teollisuuden yrityksen toimintoja ohjaa yrityksessä vallitseva tuotantomuoto. Yritys ei valitse tuotantomuotoa täysin vapaasti, vaan se määräytyy valmistettavien tuotteiden valmistusmäärien, rakenteen, valmistustekniikan ja muiden ominaisuuksien perusteella. Tuotteet voivat olla vakioituja tai tilaustuotteita. Asiakaskohtaiset tuotteet eivät ole välttämättä tilaustuotteita, vaan tilaustuotteet ovat aina ainutkertaisia. Tuotteen mukaan jaoteltuna tuotanto voi olla tilaus- tai vakiotuotantoa. Valmistuksen aloituksen mukaan tuotantoa määriteltäessä löytyy kaksi vaihtoehtoa: asiakasohjautuva ja varasto-ohjautuva tuotanto. Varasto-ohjautuvassa valmistusaloite tulee varaston saldon saavuttaessa kriittisen rajan. Tavallisesti suurien määrien kulutustuotteet tuotetaan varasto-ohjautuvasti. Asiakasohjautuvassa tuotannossa tuotannon valmistusaloite tulee asiakkaalta: kun asiakas tilaa tuotteen, tuotantoprosessi käynnistyy. [2, s. 353-354]

Tuotantomäärien perusteella erilaisia valmistustapoja ovat kertavalmistus, erätuotanto ja jatkuva valmistus. Erä tarkoittaa yhdellä työn aloituksella taukoamatta valmistettavia tuotteita. Kertavalmistus tarkoittaa tilannetta, jossa erä suunnitellaan ja valmistetaan kerran. Kertavalmistuksella tehtävät tuotteet ovat usein asiakkaiden toiveiden mukaan kustomoituja ja juuri kyseiseen käyttötarkoitukseen optimoituja. Jatkevassa valmistuksessa samaa tuotetta valmistetaan taukoamatta. [2,5] Kertavalmistuksesta usein käytetään nimitystä projekti, koska hanke on kertaluonteinen. Erätuotannon tai jatkuvan valmistuksen tuotantolaitoksissa kertavalmistuksena saatetaan tehdä tuotekehitysprojekteja, joissa valmistetaan yksittäinen tuote kehitystarpeita ja testausta varten. Kertavalmistus on usein virtaus- tai kustannustehokkuuden näkökulmasta tehotonta ja sen yksikkökustannukset korkeita.

Erätuotannossa valmistetaan vuositasolla 2-100 erää, yhden ollessa kooltaan tyypillisesti 1-100 kappaletta. Tavanomaisesti eri erät vaativat erilaiset valmistusvälineet, joiden vaihtamiseen käytettävä aika - eli asetusaika - on tuotantoa suunniteltaessa otettava huomioon. Asetustoiminta onkin oltava mahdollisimman tehokasta, jotta tuotannolle aiheutuvat katkokset ovat mahdollisimman lyhyitä. [5, s. 46] Kertavalmistukseen verrattuna erätuotannolla pyritään nostamaan tuottavuutta. Tuottavuuden nousu on seurausta lyhentyneistä asetusajoista ja toistuvuuteen perustuvasta oppimisesta. [2, s. 355] Jatkuvalle valmistukselle tuotantovolyymit ovat suuria, mutta tuotetyppejä voi silti olla enemmän kuin yksi. Valmistusvälineiden on mukauduttava nopeasti [5, s. 47] tai valmistusjärjestelmä on kokonaan suunniteltava juuri kyseistä tuotetta varten [2, s. 355].

2.1.2 Läpäisy aika

Läpäisyajalla tarkoitetaan aikaa, jonka tuotteen toimitusketju vaatii. Kokonaisläpäisy aika sisältää kaikki vaiheet tilauksen saamisesta toimitukseen. Valmistuksen läpäisy aika kuvaa tuotteen valmistuksen aloittamisesta valmistumiseen kuluva aika. [2, s. 402] Läpäisy aika voidaan karkeasti jakaa kolmeen osaan: työvaihe aikoihin, odotusaikaan ja siirtoihin. Valmistuksen aikana tuotetta jalostetaan eli sen arvo nousee. Odotusaikana tai siirtojen aikana tuotteelle ei tehdä jalostavia toimenpiteitä, eikä sen arvo siten myöskään nouse. [5, s. 54] Yleisellä tasolla määriteltynä läpäisy aika on se aikamäärä, joka kuluu tarpeen tunnistamisesta sen tyydyttämiseen. [9, s. 5] Läpäisyajan lyheneminen helpottaa prosessien hallittavuutta vähentämällä vaihteluita eli parantamalla toimitusvarmuutta. Mahdollisimman vähän vaihtelua sisältävää prosessia on myös helpompi optimoida.



Kuva 2: Läpäisyajan rakenne, mukaillen lähdettä [7].

Kuvan 2 aikajanalla on esitetty arvoa tuottavia ja arvoa tuottamattomia vaiheita tuotteen läpäisyajassa. Kuvassa harmaalla piirretyt osat tarkoittavat arvoa tuottavia vaiheita, joiden aikana tuotetta jalostetaan ja sen arvo nousee asiakkaan näkökulmasta. Tällaisia vaiheita ovat esimerkiksi työstö, kokoonpano, maalaus ja viimeistely. Kuvassa valko-

sella olevat muut vaiheet - kuten kuljetus, välivarastointi, asetus ja tarkastus - ovat välttämättömiä tuotteet valmistumiseksi, mutta niiden aikana tuotteen arvo ei nouse. Kuvassa 2 olevan kuvitteellisen tuotteen valmistamiseksi tarvitaan 3 työstövaihetta ja 6 muuta vaihetta. Kolmen työstövaiheen (kuvassa harmaalla) osuus kokonaisläpäisyajasta on kuvan 2 tapauksessa noin 32 %, loput ovat asiakkaan näkökulmasta hukkaan heitettyä aikaa. Kaksi varastointivaihetta muodostavat merkittävän osan tuotteen läpäisyajasta. Nämä poistamalla tuotteen läpäisy aika lyhenisi kuvan 2 tapauksessa noin 28 %.

Lyhyt läpäisy aika on merkki hyvin toimivasta tuotannosta ja se antaa mahdollisuuden nopeisiin toimituksiin. Asiakasohjautuvassa tuotannossa lyhyt läpäisy aika on tärkeä, koska kaikkien vaiheiden tuotantoimpulssit tulevat vasta silloin, kun asiakas on tuotteen tilannut. Jos toimitusaika ja läpäisy aika ovat yhtä suuret, tehtaassa kuormitus vaihtelee suoraan myynnin mukaisesti. [5, s. 55] Keskeisiä keinoja läpimenoajan lyhentämiseen ovat valmistuksen eräkokojen optimoiminen, vaihtelun vähentäminen, kapasiteetin lisäys ja välivarastojen minimointi. Tuotannon ollessa asiakasohjautuvaa, tarkoittaa lyhentynyt läpäisy aika suoraan lyhyempää toimitusaikaa, joka on yritykselle merkittävä kilpailutekijä. [2, s. 404-406] Tavanomaisia syitä läpäisyajan pitenemiseen ovat ennustamattomat vaihtelut, panostaminen laitteiden korkeaan käyttöasteeseen, laatuvirheet ja yleinen valmistusprosessin heikko hallinta. [12]

2.1.3 Tuhlauksen muodot

Arcidiacono et al. määrittelee tuhlauksen olevan resurssien käyttöä johonkin sellaiseen, josta asiakas ei ole valmis maksamaan eli tuotteen arvo ei asiakkaan näkökulmasta kasva [6]. Dahlgaard määrittelee hukkan olevan kaikkea, mikä lisää hintaa, mutta ei korota arvoa asiakkaan näkökulmasta [11]. Toyotalla on tunnistettu seitsemän tuhlauksen muotoa: ylituotanto, turha odottelu, tarpeeton kuljetus, yliprosessointi, varastointi, tarpeeton liike ja valmistusvirheet [6, s. 4]. Näihin Liker lisää vielä yhden tuhlauksen: työntekijöiden resurssien hyödyntämättömyyden [7, s. 30]. Muda tarkoittaa mitä tahansa aktiviteettia, joka ei lisää tuotteen arvoa, mutta kuluttaa resurssia [13, s. 93]. Mudaan kuuluvia hukkia ovat ylituotanto, siirtely, odottelu, varastot, liike ja korjaukset [14]. Näistä monia voidaan vähentää ilman laajoja vaikutuksia organisaatioon. Esimerkiksi tuotantokoneiden siirtäminen lähelle toisiaan soluksi eliminoi odottelun, liikuttelun, varastoinnin ja liikkeen. Mudan poistamisella pystytään tehokkaasti pienentämään muria ja muraa. [15]

Tarkastellaan seuraavaksi tarkemmin muria ja muraa. Muri tarkoittaa ylikuormitusta, johon kuuluu sekä ihmisten että koneiden ylikuormittaminen [14]. Koneiden liian nopeasta käyttämisestä voi seurata laatuvirheitä sekä ennakoimattomia kunnossapitotarpeita [15].

Ihmisten motivaatiolla, poissaoloilla ja työvoiman vaihtuvuudella on selkeä yhteys valmistuksen kapasiteettiin. Motivaatioon ja sitä kautta tuotokseen vaikuttavia seikkoja ovat muiden muassa työtehtävien mielekkyys, työn tekemiseen tarvittava koulutus, taito ja kokemus. [10, s. 194] Muralla tarkoitetaan epätasaisuutta, epäsäännöllisyyttä ja epäjohdonmukaisuutta. [14] Kysynnän vaihtelu on normaalia epävarmuutta, johon yritys ei kovin hyvin pysty vaikuttamaan. Tuotantojärjestelmän ja -prosessien epätasaisuuksista johtuvia epävarmuuksia yritys pystyy minimoimaan paremmalla johtamistyöllä. [15] Muraa aiheuttavat myös suunnitelmasta poikkeava toteutus, kun valmistus ei noudata tuotantosuunnitelmaa. Mudaa voidaan pitää seurauksena Murasta ja Murista. [7]

2.1.4 Tuottavuus

Kokonaistuottavuus määritellään tuotoksen ja panoksen suhteenä: mitä suurempi on tuotos ja mitä pienempi on panos, sitä suurempi on tuottavuus. Tuotos tarkoittaa hyödykkeitä eli tavaroita ja palveluita, kun taas panos tarkoittaa työvoimaa, materiaaleja, energiaa ja muita resursseja. [10, s. 56] Kun otetaan huomioon kaikki prosessiin käytetyt panokset - kuten koulutus ja kumulatiivinen kokemus - puhutaan kokonaistuottavuudesta. Tuottavuuden tarkastelun kohteena voi olla koko yritys, tulosyksikkö, osasto, toiminto tai yksittäinen työntekijä. Yritystasolla tuottavuus kuvaa yrityksen kykyä yhdistää eri panoksia mahdollisimman hyvän tuloksen saamiseksi. [2, s. 21] Käsitteenä tuottavuutta ei ole sidottu mihinkään tiettyyn yksittäiseen mittayksikköön, vaan käytettävä yksikkö riippuu tutkittavasta tilanteesta. [16]

Yrityksissä tuottavuuden kasvu vaikuttaa välillisesti tai välittömästi muiden muassa kilpailukyvyn paranemista, työpaikkojen säilymistä, rakenteellisia muutoksia ja työn luonteen muuttumista, mutta myös parempaa palkanmaksukykyä. [2, s. 20] Tuottavuus kehittyy läpimenoajan lyhentyessä. Laadukkaampi tuotanto myös tarkoittaa korkeampaa tuottavuutta, koska virheiden ja ongelmien aiheuttamat kustannukset pienenevät. [2, s. 407] Tuottavuus ei itsessään kerro yrityksen tilasta, vaan sille täytyy olla vertailuarvo. Vertailuarvon avulla voidaan arvioida tuottavuuden muutosta tai yrityksen toiminnan kehittymistä. Vertailua varten on varmistettava, että vertailtavat yksiköt tai prosessit ovat laadultaan vertailukelpoisia. Tuottavuutta voidaan parantaa esimerkiksi lisäämällä arvoa tuottavaa toimintaa tai vähentämällä tuhlaukseen käytettävää aikaa. [16]

2.2 Varaston hallinnointi

Varastoinnilla tarkoitetaan kaikkea materiaalia, jota yritys varastoi. [17] Tuotantoyrityksellä erilaisia varastoja ovat muiden muassa raaka-aineiden ja osto-osien varastot, puo-

livalmisteverastot, valmiiden tuotteiden varasto, työkalujen varasto ja kunnossapitovarastot [10, s. 553]. Varastointi on kriittinen linkki logistiikassa, ja se määrittää yhdessä muiden logistiikan tehtävien kanssa halutun palvelutason. Varastointiin sisältyvät tehtävät voidaan jakaa kolmeen kategoriaan: liikutteluun, varastointiin ja tiedonsiirtoon. [18, s. 31] Varastoja tarvitaan esimerkiksi puskuriksi vaihteluja varten. Vaihtelua aiheuttavat esimerkiksi asiakkaiden kysynnän vaihtelu, tuotannon pullonkaulat ja odottamattomat tapahtumat. [10, s. 554] Tuotantolinjan eri osissa kapasiteetti voi olla erilainen muun muassa erilaisista vuorojärjestelyistä johtuen. Tämä aiheuttaa vaihtelua, jonka kompensoimiseksi tarvitaan varastoja. [18, s. 181]

Yleisiä tavoitteita varastoinnille ovat asiakkaan tarpeiden tyydyttäminen ja samanaikaisesti pyrkimys pitää varastoinnin kulut mahdollisimman pieninä. [10, s. 554] Varastoinnilla voidaan saavuttaa ten Hompelin et al. mukaan ainakin seuraavat edut: nopeampi toimitus, logistiikan optimointi, tuottavuuden minimitasen takaaminen, kuljetuskustannusten pieneneminen ja vaihtelujen minimointi [19]. Varastointiin sisältyy myös haittoja. Varastoissa on aina kiinni varaston koosta riippuen merkittäviä määriä yrityksen pääomaa. Varastoissa voi olla tavaraa, jota ei pystytä hyödyntämään sitoen varastopaikkoja muilta nimikkeiltä. Turhat tavarat pienentävät varaston kapasiteettia, heikentävät sen käytettävyyttä ja pahimmillaan aiheuttavat tuotantokatkoksia. Valmiiden tuotteiden varastolla voidaan estää lyhyiden tuotantokatkoksien näkyminen asiakkaille. [5, s. 101]

Tuotantolaitoksen sisäisessä logistiikassa varastoja on kolmea tyyppiä: työnkulkuvarastoja, puolivalmisteverastoja ja prosessivarastoja. Työnkulkuvarastojen tehtävänä on toimia puskurina eri työvaiheiden välissä. Tällä tasataan eritahtisten työvaiheiden aiheuttamaa vaihtelevaa työpisteiden kuormitusta ja pyritään saamaan tuotannon virtaus joustavaksi. Työpisteet pystyvät silloin toimimaan omalla tahdillaan, ja turhaa hitaimman työpisteen odottelua voidaan vähentää. Prosessivarastot tarkoittavat tuotantoprosessin eri vaiheiden välisiä varastoja silloin, kun prosessin kannalta on välttämätöntä varastoida tuotteita tietty kiinteä aika - esimerkiksi maalin kuivumiseen vaadittava aika. [5, s. 101] Isoilla varastoilla voidaan taata kelvollinen palvelukyky, mutta samalla varaston kustannukset ja riskit kasvavat. Varastot myös usein piilottavat yrityksen muita ongelmia. [20]

Kirjanpitoasetuksen (30.12.1997/1339) mukaan yrityksen on kirjattava tuloslaskelmaan valmiiden ja keskeneräisten tuotteiden varastojen muutos. [21] Varastojen muutoksen laskenta edellyttää tietoa tilinpäätöshetkellä varastoissa olevien tavaroiden määrästä ja arvion niiden hinnasta. Vaihto-omaisuuden erittely taseessa edellyttää varaston fyysistä inventointia. Inventointi voidaan tehdä fyysisesti, jolloin manuaalisesti lasketaan varastossa olevat määrät, tai varastokirjanpidon avulla. Hyödynnettäessä varastokirjanpitoa,

on luotettavan tiedon takaamiseksi fyysinen inventointi kuitenkin suoritettava säännöllisesti esimerkiksi kerran tilikaudessa. [22, s. 34] Varaston arvon oikeellisuus on tärkeää, koska sen muutos edellisen tilikauden inventointiin verrattuna kirjataan tuloslaskelmaan suurentuneena tai pienentyneenä yrityksen tuloksena. Itse valmistettua tavaraa inventoitaessa käytetään inventaariarvona kustannuslaskelmalla arvioitua tuotteen hintaa, joka sisältää hankinnan ja valmistuksen kulut. [23]

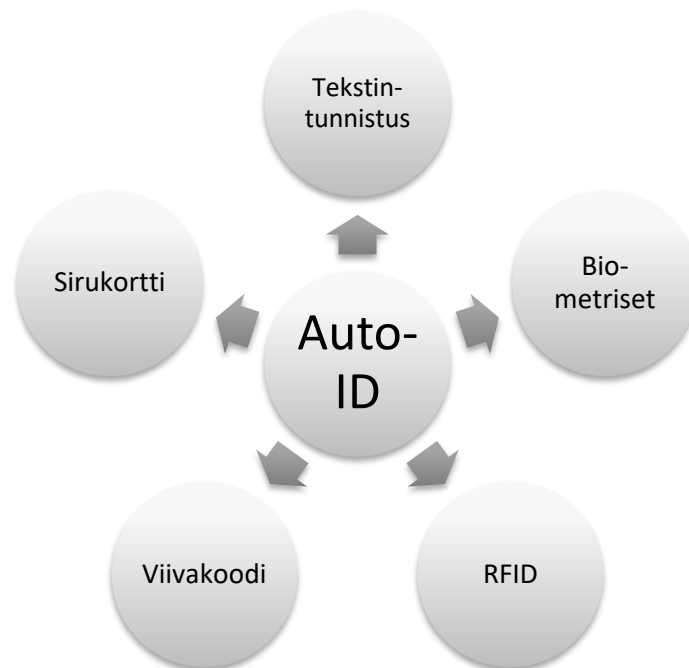
Liker listaa vaatimukset tehokkaalle varastohallinnalle. Ensiksi tarvitaan järjestelmä, jolla seurataan varastoa. Toiseksi tarvitaan luotettava ennuste tavaroiden tarpeesta. Kolmanneksi tulee olla tieto läpäisyajoista ja niiden vaihteluista. Neljäs vaatimus on realistinen estimaatti varaston kustannuksista. Viimeinen vaatimus on varaston luokittelujärjestelmä. Varastohallinnan tavoitteena on pitää varastosaldot halutulla tasolla, sekä huolehtia, että varastossa on tarvittavat tavarat. Keskeinen osa varastohallintaa on siihen käyttöön soveltuva järjestelmä. [7, s. 555]

2.2.1 Materiaalien tunnistusteknologiat

Materiaalien tunnistusta tarvitaan yrityksissä varmistamaan, että oikeaa tavaraa käytetään oikeaan aikaan ja oikeassa paikassa. Tunnistus voidaan tehdä täysin manuaalisesti ilman mitään tietojärjestelmiä, mutta automaattisella tunnistuksella saadaan inhimillisiä virheitä vähennettyä ja toimintaa nopeutettua. Hyödynnettäessä automaattisia tunnistustekniikoita yhdistettynä tietojärjestelmiin, saadaan myös materiaalien saldot päivittymään automaattisesti. [24, s. 384] Paperipohjaiset materiaalivirran suunnittelu- ja ohjausmenetelmät pyritään yrityselämässä korvaamaan automaattisilla tietokonejärjestelmillä. Yksittäisillä tuotteilla tai tuoteryhmillä on yritysten tietojärjestelmissä useita tietoja, joita on tarve päivittää tuotteen siirtyessä toimitusketjussa eteenpäin. Myös tehdyt operaatiot - kuten kuljetus, varastointi tai valmistus - tarvitsee tuotteen tietoihin päivittää. Molemmissa tapauksissa tuote pitää tunnistaa. Tunnistus voidaan tehdä täysin manuaalisesti, elektronisen laitteen avustamana tai automaattisesti. [25]

Tunnistusjärjestelmässä tuotteessa on kiinnitettynä tagi tai etiketti, joka sisältää vähintään tuotteen yksilöintitiedon. Tunniste voidaan sijoittaa varastoitavaan materiaaliin tai varastointiyksikköön. Yksinkertaisimmillaan tunniste on merkkijono, joka syötetään manuaalisesti tietojärjestelmiin. Automaattisia tunnistustekniikoita tarvitaan silloin, kun käsittelyssä on useita jäljitettäviä nimikkeitä samanaikaisesti. Automaattista tunnistusta hyödyntämällä saadaan prosessia nopeutettua ja inhimillisten virheiden määrää vähennettyä. [25] Kuvassa 3 on esitetty yleisimmät automaattiset tunnistus- eli identifiointitavat. Erilaiset tekniikat voidaan Finkenzellerin mukaan jakaa viiteen eri ryhmään: viivakoodi-, RFID-, biometrisiin, tekstintunnistus- ja sirukorttitekniikoihin. [26] Tietoa voidaan

RFID:n tapauksessa varastoida ja päivittää tunnisteeseen, josta se käydään lukijalla hakemassa. Lukijan ei silloin tarvitse jatkuvasti olla online-tilassa. Muuten tunnisteiden perusteella tiedot haetaan tietojärjestelmästä.



Kuva 3: Yleisimmät identifiointimenetelmät, mukaillen lähdettä [26].

Tuotantoympäristö aiheuttaa vaatimuksia tunnistukselle, sillä tunnisteiden ja laitteiden tulee kestää pölyä, likaa, lämpötilanvaihteluja, tärähdyksiä ja silti toimia vuorokauden ympäri. Kuvassa 3 esitellyistä tunnistamismetodeista tuotantoympäristössä käytetään ainakin viivakodeja ja RFID:tä. [25] Monissa tuotantolaitoksissa tuotanto on taukoamatonta, jolloin laitteiden on kestävä myös jatkuvaa katkeamatonta käyttöä.

Viiva- ja QR-koodi

Viivakooditekniologia on tärkeimpiä ja eniten käytetyimpiä automaattisia tunnistusteknologioita. Teknologiat voidaan jakaa yksi- ja kaksiulotteisiin. Yksiulotteisista tavanomaisin on viivakoodi, kun taas kaksiulotteisen tavanomaisin esimerkki on QR-koodi. Viivakoodi on binäärikoodi, joka koostuu eri levyisistä viivoista ja niiden välisistä raoista. Viivakoodin luenta perustuu lasersäteiden erilaiseen heijastumiseen mustista ja valkoisista viivoista, jotka lukija tunnistaa. Viivakoodinlukija tulkitsee viivakoodin ymmärrettäväksi ja käsiteltäväksi merkkijonoksi. Viivakoodissa viivoja on vain horisontaalisesti, kun taas QR-koodissa dataa on varastoituna sekä horisontaalisesti että vertikaalisesti. QR-koodin edut viivakoodiin verrattuna ovat korkeampi datamäärä, virheiden vähentyminen ja koodin helpompi sijoittelu. QR-koodi voidaan myös lukea useammista suunnista kuin viivakoodi. [27]

Viivakoodin lukemiseen tarvitaan näköyhteys lukijan ja koodin välillä. Lukuetaisyys on tyypillisesti alle 50 cm [26]. Viivakoodi voidaan luoda helposti ja tulostaa monenlaisille pinnoille. Tulostetun viivakoodin heikkous on sen huono kestävyys. Viivakoodin lukemiseksi tarvitaan suora näköyhteys lukijan ja tunnisteen välille. Jos viivakoodin päällä on pölyä tai likaa, ei luenta välttämättä onnistu. Myös viivakoodin rypistyminen tai repeäminen estää luennan. [25] Lukijoita on saatavilla useita erilaisia ja useilla erilaisilla liitännöillä, muiden muassa kiinteästi asennettavia, kannettavia, älypuhelimeen yhdistettyjä, USB-, RS232- tai Bluetooth-liitännällä. Viivakoodistandardeja on myös useita erilaisia. Esimerkiksi EAN-standardin mukaisessa viivakoodissa on 13 merkkiä, maatunnus, yritystunnus, valmistajan tuotenumero ja varmistusmerkki. [28]

RFID

RFID koostuu tageista, jotka lähettävät tunnistenumeronsa vastaanottavalle lukijalle langattomasti radioaaltoja hyödyntäen. Tagien lukemiseen tarvitaan lukija, joka vastaanottaa tagin lähettämän datan. Tagit voivat olla passiivisia tai aktiivisia. Passiivissa tageissa ei ole sisäistä virtalähdettä eli ne eivät voi kommunikoida spontaanisti. Passiiviset tagit aktivoituvat lukijan signaalista ja palauttavat lukijalle sisältämänsä ID-tiedon. Aktiiviset tagit sisältävät oman virtalähteen, ja ne ovat jatkuvasti yhteydessä lukijoihin. [28] Jos useampi tagi aktivoituu ja lähettää ID-tiedon samanaikaisesti, voi tapahtua signaalien törmäys ja skannauksen epäonnistuminen. [29] RFID-tagien luku ei vaadi suoraa katsekontaktia tunnisteseeseen. RFID-tagin sisältöä voi myös päivittää, kun taas viivakoodin sisältämää dataa ei tulostuksen jälkeen voi muuttaa. RFID-tekniikan taajuuden mukaiset luokitukset ovat low frequency (LF), high frequency (HF), ultra high frequency (UHF) ja mikroaalto. Taajuudet vaihtelevat välillä 30 kHz ja 5.8 GHz. [30]

Toimitusketjussa käytetään pääsääntöisesti RFID:tä kahteen tarkoitukseen: tietokonejärjestelmien ja operaattoreiden - esimerkiksi materiaalivastaavan - väliseen tiedonsiirtoon suhteellisen pienellä alueella. Toinen käyttökohde on varastointiyksiköiden yksilöinti. Siinä yksikköön - esimerkiksi trukkilavaan, konttiin, kasettiin tai rullaan - sijoitetaan RFID-tagi, jota voidaan lukea toimitusketjun varrella. Kun yksikköön sijoitetaan tavaraa, luetaan päätelaitteella tagi, ja sen yksilöimään tunnisteseeseen liitetään tietojärjestelmässä tieto yksikön sisällöstä. Jos osa yksikön tavarasta otetaan pois, taas luetaan yksilötunniste ja vähennetään saldoa. RFID:n etuja viivakoodiin verrattuna ovat muiden muassa tagin vapaampi sijoittelu, moninkertainen datamäärä, viivakoodia parempi viansieto ja etäluenta. [24, s. 383-385] Taulukossa 1 on seuraavaksi vertailtu viivakoodi- ja RFID-järjestelmien ominaisuuksia.

Taulukko 1: RFID- ja viivakoodijärjestelmien vertailu, pohjautuen lähteeseen [26]

Parametri	Viivakoodi	RFID
Datamäärä (bittejä)	1-100	16-64k
Datan tiheys	Pieni	Suuri
Koneen lukukyky	Hyvä	Hyvä
Ihmisen lukukyky	Rajoitettu	Mahdoton
Lian/kosteuden vaikutus	Todella suuri	Ei vaikutusta
Optisten esteiden vaikutus	Ei toimi ollenkaan	Ei vaikutusta
Suunnan ja aseman vaikutus	Pieni	Ei vaikutusta
Kuluminen	Rajoitettu	Ei vaikutusta
Hankintakulut	Pieni	Keskinkertainen
Käyttökulut	Pieni	Ei ole
Luvattoman kopioinnin riski	Vähäinen	Ei ole
Lukunopeus	Hidas (~4 s)	Todella nopea (~0.5 s)
Lukuetäisyys	0-50 cm	0-500 cm
Mukautettavuus	Huono	Keskinkertainen

RFID-tagista on mahdotonta päätellä sen sisältämää dataa ilman lukijalaitetta. Viivakoodin tapauksessa usein viivakoodin sisältämä merkkijono on myös kirjoitettu viivakoodin yhteyteen, joten lukijan hetkellisen häiriön vuoksi luku voidaan tehdä syöttämällä merkkijono manuaalisesti. RFID-tagin tietoa ei häiriötilanteessa voi käyttää. Toisaalta RFID-teknologia on vähemmän vikaherkkä viivakooditekniikkaan verrattuna. Viivakooditekniikassa yleisimpiä ongelmien aiheuttajia ovat likaantunut tai vioittunut viivakoodi, optinen este viivakoodin ja lukijan välillä ja huonosti asemoitu viivakoodi tai lukija. Isot metalliesineet tai jotkut nesteet voivat aiheuttaa ongelmia RFID-tagien lukemisessa. Joskus voidaan huomaamatta lukea väärä tunnistus, mikä ei ole yhtä todennäköistä viivakoodin tapauksessa. Haittapuolena RFID-teknikassa voidaan pitää myös sen verrattain korkeaa hintaa viivakooditekniikkaan verrattuna. [26]

2.2.2 Varaston logistiikka

Langevin et al. määrittelee logistiikan olevan resurssien sijoittamista oikeaan aikaan, oikeaan paikkaan, oikeaan hintaan ja oikeaan laatuun. [31] Logistiikan tehtävänä on tarjota sopivia ja tehokkaita logistisia palveluita. Niiden avulla varmistetaan, että oikeat asiat ovat oikeassa paikassa oikeaan aikaan tehokkaimmalla ja halvimalla mahdollisella tavalla. Logistiikkaan liittyviä aktiviteetteja ovat kuljetus, varastointi, jakelu, optimaalisen reitin suunnittelu ja pakkaus. Logistiikka voidaan jakaa kolmeen osa-alueeseen: tulo-, sisä- ja lähtölogistiikkaan. Tulologistiikka tarkoittaa yrityksen ulkopuolelta tulevien hyödykkeiden vastaanottoa, tarkastusta, purkamista ja sijoittamista varastoon. Sisälogistiikka tarkoittaa materiaalien ja tuotteiden käsittelyä yrityksen sisäisissä toiminnoissa, kun kyseessä ei ole tulo- tai lähtölogistiikka. Lähtölogistiikkaan kuuluu valmiiden tuotteiden pakkaaminen, lähettäminen ja kuljettaminen eteenpäin. [18]

Logistiikka käsittää materiaali-, informaatio- ja rahavirran [18, s. 11]. Logistiikan ja toimitusketjun optimointi on kriittinen ongelma teollisuudessa, ja tärkeitä kehitysalueita ovat kuljetusten ohjaus, varastojen hallinta ja laitteiden sijainnin suunnittelu. Päätöksen tekeminen kesken kilpaillun markkinan vaatii nopeaa matemaattista mallintamista ja analyysiä. Logistisessa yhtälössä on monia muuttujia, joten yhtä ainoaa oikeaa ratkaisua ei ole. Mallintaminen ja optimointi vaativat tiedon keräämistä, jota analysoimalla toimintaa voidaan optimoida. [32] Globaalisti kilpailluilla markkinoilla logistiikan tutkiminen ja sen optimoiminen on väistämätöntä. Tehokas logistiikka edellyttää hyvää päätöksentekokykyä ja yhteistyötä, sillä logistiikka yleensä koskettaa laajasti organisaation eri osia. Operatiivisella tasolla logistiikan suunnittelussa tarvitaan tietoja muiden muassa myynnin ennusteista, varastonhallinnasta, tuotannosta, kuljetuksesta ja tilaustenkäsittelystä. [31]

2.3 Tuotantoyrityksen tietojärjestelmien integrointi

Tässä luvussa tutustutaan valmistusteollisuudessa toimivien yritysten keskeisiin tietojärjestelmiin, joilla valmistusta ohjataan. Pohjana käytetään ISA-95 -standardia. Siinä tuotannon tietojärjestelmät jakaantuvat neljään tasoon niiden toimintaperiaatteen perusteella [33]. Reaaliaikainen tiedonkulku tuotannossa ja tuotannosta sidosryhmille on korvaamattoman tärkeää onnistuneen ohjaamisen kannalta. Tämä vaatii tuotannon yhteisen tietovaraston sekä tarvittaville resursseille pääsyn tietoihin. [34] Tätä diplomityötä kirjoitettaessa ISA-95 koostuu kaikkiaan seitsemästä osasta, joista ensimmäinen on julkaistu vuonna 2000 ja viimeisin vuonna 2017 [35]. Tämän työn kannalta keskeiset asiat käsitellään standardin kolmannessa osassa, joten paneudutaan siihen seuraavissa kappaleissa tarkemmin.

ANSI/ISA-95 on tuotannon tietojärjestelmiin liittyvä standardi, jonka on määritellyt International Society of Automation. Standardissa määritellään tuotantoon liittyvien tietojärjestelmien väliset integraatiot, toiminnallisuudet ja terminologia. Toimittajan ja asiakkaan käyttäessä samaa terminologiaa, vähenee väärinymmärryksen riski ja toimintojen määrittely helpottuu [33]. Tietojärjestelmästandardeilla voidaan saavuttaa eri tietojärjestelmien parempi yhteiskäyttö ja helpompi integroitavuus tilaajan ja tuottajan kannalta. Standardeihin perustuvat rajapinnat eivät välttämättä vaadi lainkaan työlästä tapauskohtaista muokkausta, vaan rajapinta toimii vakiototeutuksella. ISA-95 standardi pyrkii pohjimmiltaan helpottamaan eri tuotannonohjaus- ja liiketoimintajärjestelmien integrointia ja yhteensopivuutta. [36] ISA-95-standardin tasojen määrittelyt ja tasoilla käytettävät ohjelmistot esitetään seuraavaksi.

ISA-95 jakaa prosessinohjauksen viiteen eri tasoon 0-4. Alimmalla tasolla määritellään todelliset tuotannon fyysiset prosessit. Ylimmällä tasolla 4 määritetään liiketoimintastrategiaa, jonka tarkastelun aikajakso on päivistä kuukausiin. Näiden tasojen välissä on järjestelmät, joilla fyysisiä prosesseja ohjataan. Siirryttäessä tasoilta alaspäin tarkasteltava aikajakso lyhenee. Taulukossa 2 on esitetty jokaisen tason toiminta-alue, kyseiselle tasolle kuuluvat tehtävät, tarkasteltava aikajakso ja järjestelmät, joita kyseisen tason tehtäviin tavanomaisesti käytetään. Ideaalisessa tilanteessa tieto liikkuu ERP:stä aina tuotantokoneiden PLC:lle saakka automaattisesti ilman, että ihminen on tiedonvälittäjänä. Yleisesti yrityksissä käytettävät valmistuksenohjausohjelmistot ovat eri toimittajien tuotteita, joita on kustomoitu tapauskohtaisesti yrityksen tarpeiden mukaan. Standardia noudattamalla saadaan rajapinnoista vakioituja, ja tiedonkulku eri ohjelmistojen välillä helpottuu. [33]

Taulukko 2: ISA-95 tasot pohjautuen lähteeseen [33].

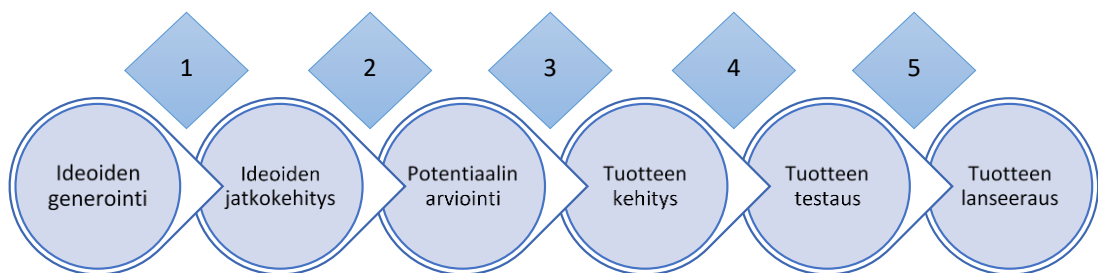
Taso	Toiminta-alue	Tehtävät	Aikajakso	Järjestelmä
4	Liiketoiminnan suunnittelu	Karkeasuunnitelma Varastotasojen määrittely Toimitusten suunnittelu Valmistuksen suunnittelu Materiaalin käytön suunnittelu	Kuukausi Viikko Päivä	ERP
3	Tuotannonohjaus	Tuotannon suunnittelu, ohjaus ja seuranta Toteumatietojen keräys Tuotantoprosessin optimointi	Päivä Vuoro Tunti Minuutti Sekunti	MES APS WMS
2	Prosessien ohjaus	Seuranta Valvonta Säätö Tuotantoprosessin automaattinen ohjaus	Tunti Minuutti Sekunti Sekunnin osa	SCADA
1	Tuotantoprosessin havainnointi ja manipulointi	Panosprosessien ohjaus Jatkuvien prosessien ohjaus Diskreettien prosessien ohjaus	Sekunti Sekunnin osa	PLC, DCS, CNC

Ylimmällä tasolla suunnitellaan ja määritellään liiketoiminnan suuret linjat, ja käsiteltävä aikajakso on kuukausia, viikkoja tai päiviä. 4. tason tehtäviä ovat esimerkiksi tehtaan karkea aikataulutus, materiaalinkulutusten hallinta, toimitusten ja kuljetusten hallinnointi sekä varastotasojen määrittely. Työkaluna 4. tason tehtäviin on ERP-järjestelmä. Taso 3 tarkoittaa tuotannonohjausta. Tasolla 3 suunnitellaan tuotannon työnkulku ja valmistusohjeet sekä kerätään tietoja tuotannon toteumasta. Myös tuotantoprosessin optimointi kuuluu tasolle 3. Käsiteltävän aikajakson pituus on tyypillisesti päivistä sekunteihin. Käytettäviä järjestelmiä ovat muiden muassa MES, APS ja WMS. Varastonhallintaan kuuluvia tehtäviä ovat esimerkiksi ajoittainen varastojen inventointi, työpisteiden välisen materiaaliliikenteen hallinta ja suunnittelu. Tasot 2, 1 ja 0 ovat tuotannon operatiivinen toiminta. Taso 2 tarkoittaa tuotannon valvontaa ja tuotantoprosessin automaattista ohjausta. Taso 1 on tuotantoprosessin mittausta ja manipulointia. Taso 0 tarkoittaa tuotantoprosessia. [33]

Tuotannon koneita ohjataan usein PLC:n avulla. PLC (programmable logic controller) on pieni tietokone, jonka muistiin on tallennettu ohjelma prosessien ja koneiden ohjaamiseksi. PLC on yhteneväinen tietokoneen kanssa, mutta PLC on optimoitu tehtävien ohjaamiseen teollisessa ympäristössä. Tavanomainen PC (personal computer) on sen sijaan tarkoitettu laskentaan ja tehtävien esittämiseen. PLC:n rakenteen on myös kestävä iskuja, värinöitä, lämpötilan muutoksia ja kosteutta. PLC:lle tieto syötetään tulee inputeista eli tuloista, jotka voivat olla digitaalisia tai analogisia signaaleja. Inputtien perusteella PLC ohjaa outputteja eli lähtöjä muistissa olevan ohjelman mukaisesti. [37] PLC suorittaa sille määriteltyä tehtävää, joten suunnitteluvaiheessa on tärkeää miettiä PLC:n toiminta aukottomaksi, jotta etukäteen suunnittelemattomia poikkeustilanteita tulee mahdollisimman vähän.

2.4 Innovaation kehitysprosessi

Tässä luvussa tarkastellaan lyhyesti innovaation kehittämiseen liittyviä vaiheita, kun kehitystyötä käsitellään prosessina. Tarkasteltava malli on Stage-Gate -malli, jonka on alun perin esitellyt Robert G. Cooper. Mallin ajatus on, että jokaisen työstövaiheen jälkeen idean elinkelpoisuutta tulee tarkastella ja tehdä Go/Kill -päätös eli joko kehitystyötä jatketaan seuraavaan vaiheeseen tai idean kehittäminen lopetetaan. Kuvassa 4 on esitetty malli graafisesti. Kuvassa ympyrät tarkoittavat tehtäviä ja neliöt niiden välissä tapahtuvia päätöksiä. Malli toimii suunnittelutyökaluna, jossa tuotekehitysprosessi pilkotaan loogisiin vaiheisiin. Kunkin vaiheen aikana kerätään riittävät tiedot päätöksentekoa varten. Kaikkiaan vaiheita on 6 ja päätöksentekopisteitä 5. Mallia voidaan räätälöidä kunkin tilanteen mukaan, ja vaiheiden pitkittyminen, limittyminen tai siirtyminen on mahdollista.



Kuva 4: Stage-Gate malli, mukaillen lähdettä [38]

Stage-Gate -mallin ensimmäinen vaihe on ideoiden generointi. Ideoiden generoimiseen on olemassa erilaisia työkaluja, mutta usein innovaatioprosessi lähtee liikkeelle jonkin ongelman tai haasteen havaitsemisesta, johon halutaan löytää ratkaisu. Ensimmäisessä vaiheessa ideoita kerätään laajasti ilman rajoitteita ja tarkoituksena onkin saavuttaa

enemmän määrää kuin laatua. Ideoiden generointiin on olemassa lukuisia erilaisia työkaluja. Ideoiden generoinnin jälkeen tulee ensimmäinen portti (kuvassa numero 1) eli ideoiden alustava seulonta. Sen aikana kerätyistä ideoista valitaan muutamia toteutuskelpoisimpia ja hylätään muut. Toisena vaiheena on ideoiden jatkokehitys. Portissa ideoista on huonoimmat karsittu ja toteutuskelpoisimpia lähdetään jatkojalostamaan. Jatkojalostuksella pyritään löytämään valituista ideoista mahdollisia hyviä ja huonoja puolia. Jatkojalostusvaihetta seuraa jälleen päätöspiste, jossa lopulta valitaan alkuperäisistä ideoista toteutuskelpoisin. [39]

Kolmanteen vaiheeseen valitun ja sinne asti selvinneen idean potentiaalia arvioidaan. Tässä vaiheessa käsiteltäviä ideoita on enää yksi, jonka potentiaalia arvioidaan markkinan mukaan. Vaiheen 3 jälkeen tehdään jälleen päätös kehitystyön jatkamisesta tai keskeyttämisestä. Tällöin päätöksenteossa tarvitaan tarkka analyysi tuotteesta, sen taloudellisista rajoitteista ja mahdollisuuksista. Vaiheena 4 on tuotteen kehitys. Ideasta riippuen kehitystyöhön on erilaiset työkalut, mutta vaiheen 4 tavoitteena on kuitenkin tehdä innovaatiosta sellainen, että sitä on mahdollista toimintaympäristössään testata. Vaiheen 4 aikana tai sen jälkeen tuotteen ei tarvitse olla julkaisukelpoinen, mutta testattavissa. Vaihe 4 on tavanomaisesti Stage-Gate-mallin pisin vaihe, riippuen kehitettävästä tuotteesta tai palvelusta. [38]

Viidentenä vaiheena on testaus. Testauksen aikana tuotteesta pyritään löytämään pahimmat ongelmakohdat, jotka voidaan vielä ennen lanseerausta korjata. Kun testaus täyttää sitä seuraavan portin vaatimukset, voidaan idea viedä seuraavaan vaiheeseen eli lanseeraukseen. [39] Sjöholmin mukaan Stage-Gate-mallilla pyritään hallinnoimaan innovaation riskejä. Usein yrityksissä ei ole uskallusta lopettaa tuotekehitystä, vaikka sille ei ole nähtävillä potentiaalia. Stage-Gate-malli tarjoaa tähän työkalun, jolloin jokaisen vaiheen jälkeen on kriittisesti arvioitava kehityksen tulosta ja uskallettava tarvittaessa portin kohdalla keskeyttää kehitys. Epäonnistuneet työt siten havaitaan aikaisemmin, ja tarvittaessa kyseinen vaihe voidaan toistaa uudelleen. Sjöholmin mukaan Stage-Gate-mallilla on saatu parannettua tiimityöskentelyä, kannattavuutta ja vähennetty turhaa toistoa. [40]

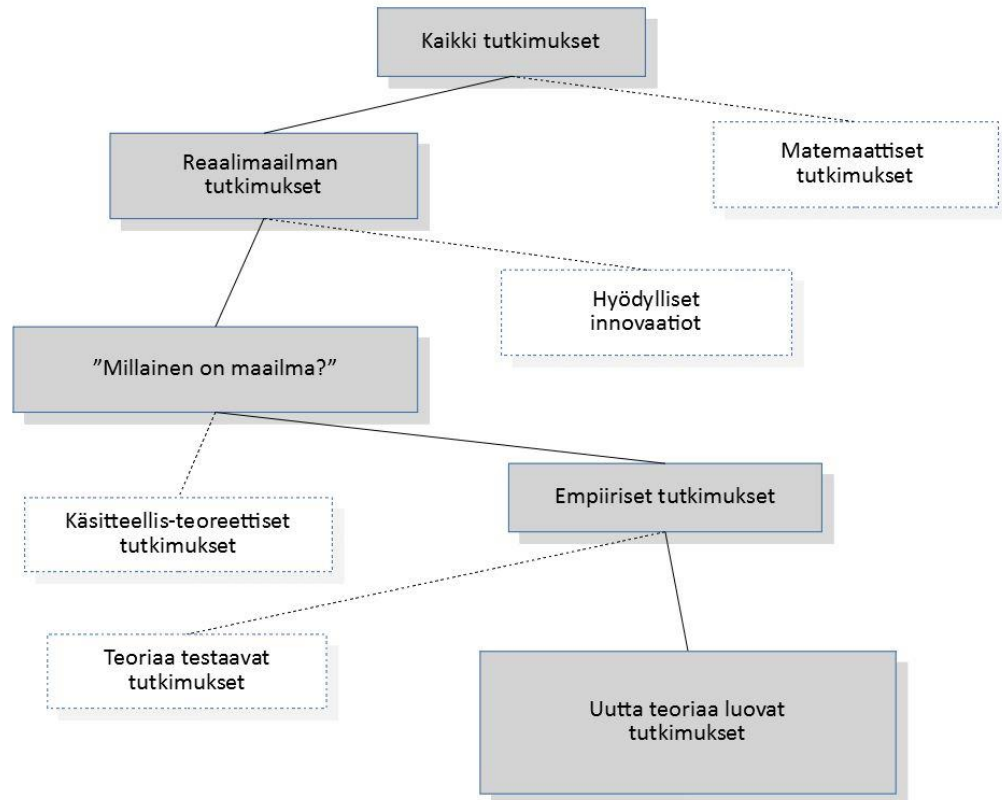
2.5 Tutkimusmenetelmät

Tutkimustyön tarkoitus on tuottaa uutta tietoa, joka voi olla informaatiota, dataa tai tietämystä. Tutkimusmetodi tarkoittaa joukkoa perättäisiä toimenpiteitä, jotka auttavat ja ohjaavat tutkijaa tutkimuksen aikana. Metodeja on useita erilaisia, joista tutkijan on valittava soveltuvat omaan tutkimukseensa. [41, s. 3] Tutkimustyön yleiset periaatteet tekniikan alan opinnäytteen kirjoitusohjeen [42] mukaan ovat seuraavat:

1. Suunnittele
2. Hanki tietoa
3. Tutki ja kerää aineisto
4. Analysoi
5. Kirjoita ja kuvita
6. Tarkastele ja korjaa

Valmistusteollisuudessa toimivan yrityksen prosessia tutkiessa on tärkeää tietää mitä todellisuudessa tapahtuu, eikä pelkästään luottaa siihen mitä työntekijät kertovat. Siksi on tärkeää haastatella tutkimuspopulaatiosta valittua mahdollisimman laajaa otosta, sekä tukea haastattelussa saatuja tuloksia myös muilla keinoin. Haastattelututkimusta käsitellään tarkemmin luvussa 2.5.2.

Tutkimus lähtee liikkeelle ideasta eli ongelmasta, joka kaipaisi lisää tietämystä. Ongelman määrittely ja rajaaminen olisi hyvä tehdä jo aikaisessa vaiheessa, jotta tutkimusvaiheessa osataan tutkia oikeita ja tutkijalle arvoa tuottavia asioita. Tutkijalla tulee olla käytettävissään kolme resurssia: tekniset tutkimuslaitteet, tarvittava avustava henkilökunta ja pääsy tarpeellisiin tietolähteisiin. [41, s. 3-5] Järvinen et al. jakaa tutkimukset kahteen pääluokkaan: reaali maailman tutkimukset ja ideaali maailman tutkimukset. [41, s. 3]



Kuva 5: Tutkimusten luokittelu. Perustuu lähteeseen [41].

Kuvassa 5 on esitetty Järvisen et al. mukainen tutkimusten luokittelu. Empiiristä tutkimusta tehdessä ja uutta teoriaa luovissa tutkimuksissa tutkimuksen luonteesta riippuen soveltuvia tiedonhankintamenetelmiä ovat muiden muassa haastattelut, havainnoinnit ja data-analyysit. Seuraavissa luvuissa esitellään tarkemmin tiedonhankintamenetelmiä ja tutkimusten suunnittelua. [41]

2.5.1 Tiedonhankintamenetelmistä

Määrällisen eli kvantitatiivisen tutkimuksen peruskysymys on kuinka paljon tai kuinka usein? Laadullisessa eli kvalitatiivisessa tutkimuksessa taas kysytään millainen tai miten? [43, s. 4] Perusoletus on, että kvalitatiivisen ja kvantitatiivisen tutkimuksen suurimmat erot ovat tutkittavassa datassa: kvalitatiivinen käsittelee tekstiä ja ei-numeerista dataa, kun taas kvantitatiivinen tutkii numeerista dataa. [43, s. 123] Yleisesti kvantitatiivinen tutkimus liittyy eri muuttujien välisten suhteiden relaatioihin ja niiden yleistämiseen. Kvalitatiivinen tutkimus pyrkii syvemmin ymmärtämään ilmiöitä tietyn alueen sisällä. Laadullisen tutkimuksen pyrkimyksiä ovat jonkin ilmiön tai tapahtuman kuvaaminen, tietyn toiminnan ymmärtäminen tai ilmiön teoreettinen tulkinta. Onkin hyvä, että tiedonantajat tietävät kyseessä olevasta asiasta mahdollisimman paljon. Tältä kannalta ajateltuna parempi on valita tiedonantajat valikoidusti eikä satunnaisesti. [44, s. 73]

Järvinen et al. luettelee tavanomaisiksi tiedonkeruumenetelmiksi haastattelun, havainnoinnin ja kyselyn [41]. Näiden lisäksi joissain tilanteissa on mahdollista myös rekistroidä omaa toimintaa, videoita tapahtumia, suorittaa erilaisia mittauksia ja seurata käyttäjien toimintaa tietokoneohjelmia apuna käyttäen. [41, s. 147] Eri aineistonkeruumenetelmiä voi käyttää yhdistelemällä ja rinnakkain, jolloin tutkittavan ilmiöön saadaan parempi näkymä [44, s. 62]. Kysely on optimaalinen tiedonhankintatapa tilanteissa, joissa tiedusteltavia asioita on vähän ja vastaajia paljon. Kyselyn kysymykset voivat olla avoimia tai sisältää vastausvaihtoehdot. Jos kysymykset ovat avoimia, täytyy tutkijan jälkikäteen luokitella vastaukset. Kysely suoritetaan tavallisesti vain kerran, eikä tutkijalla ole mahdollisuutta varmistaa, että tutkittava on ymmärtänyt kysymyksen tai esittää tarkentavia kysymyksiä vastausten perusteella. [41, s. 150]

Haastattelun etuihin kuuluu sen joustavuus. Useinkaan kysymyksillä ei heti ensimmäisellä kerralla saada oikeanlaista vastausta, jolloin haastattelijalla on mahdollisuus oikeista väärinkäsityksistä heti. Haastattelu on interaktiivinen tapahtuma, jossa tietoa siirtyy molempiin suuntiin, kun taas kyselyssä vain haastateltavalta haastattelijalle. [45] Haastattelu vie enemmän aikaa ja maksaa enemmän kuin kysely, mutta haastattelulla saa syvemmän tiedon tutkittavasta ilmiöstä. Havainnointi on tiedonhankintamenetelmä silloin, kun tutkija kirjaa muistiin havaintonsa. Havainnoinnin kohteena voi olla toiminta, laitteet tai tutkittavat henkilöt. [41, s. 154] Havainnointia kuvataan tarkemmin luvussa 2.5.3. Ihmiset eivät koskaan anna tutkimuksessa valmiita tutkimustuloksia [46, s. 17]. Vasta tulosten analysoinnin jälkeen on käytettävissä tietoja, joita voidaan kutsua tutkimustuloksiksi. Tutkijan tulee pyrkiä luottamukseen ja ehdottomaan puolueettomuuteen tutkittavien kanssa, jotta tutkimustulokset olisivat päteviä. [44, s. 154]

2.5.2 Haastattelu tiedonhankintamenetelmänä

Haastattelut voidaan jakaa kolmeen ryhmään sen mukaan, kuinka tarkasti kysymykset on määritetty. Avoin haastattelu ei sisällä tarkkoja kysymyksiä eikä valmiita vastausvaihtoehtoja, vaan haastattelun edetessä myös kysymykset muotoutuvat. Avoimeen haastatteluun saattaa liittyä myös kysymys ”Ketä minun kannattaisi tästä aiheesta haastatella?”. Tällöin kyseessä on niin sanottu lumipalloefekti. Strukturoitu haastattelu koostuu hypoteeseista johdetuista kysymyksistä ja niihin annetuista vastausvaihtoehdoista. Strukturoitu haastattelu toteutetaan kaikkien haastateltavien kanssa samalla tavalla ja tuloksina saadaan helposti analysoitavaa tilastollista tietoa. Puolistrukturoitu haastattelu on näiden yhdistelmä sisältäen monivalintakysymyksiä, mutta myös avoimia kysymyksiä. [41]

Haastattelu on hyvin herkkä tiedonhankintamenetelmä. Haastattelijan tulisi luoda ilma-
piiri, jossa haastateltava rentoutuu ja kertoo avoimesti aiheesta, eikä anna ennakkokä-
sitysten vaikuttaa vastauksiin liikaa. Haastattelijan onkin hyvä alkuun kertoa avoimesti ja
rehellisesti, mihin tutkimuksella pyritään. Haastattelukysymykset tulee laatia niin, että ne
ovat hyvin lähellä haastateltavan normaalisti käyttämää arkista kieltä. [45] Onnistunut
haastattelu onkin enemmän vuorovaikutustilanne ja arkinen puhetilanne kuin mikään eri-
tyinen järjestetty kyselytuokio. [46, s. 13] Pelkästään hyvien kysymysten valmistelu etu-
käteen ennen haastattelua ei takaa haastattelun onnistumista. [41, s. 9] Haastatteluun
valmistautumisen ensimmäinen vaihe on pohtia ketä tulisi haastatella. Tätä miettiessä
on hyvä palata tutkimuskysymykseen: mitä onkaan tarkoitus ymmärtää, ja kenen merki-
tyksenantoa halutaan tavoitella? [46, s. 114]

Haastateltava voi kokea haastattelun urkkimiseksi tai johdon järjestämäksi valvontame-
nettelyksi. Tästä johtuen haastatteluun valittu henkilö ei välttämättä kerro haastattelijalle
kaikkia seikkoja. Toisaalta haastateltava voi kertoa muunneltua totuutta. [41, s. 147]
Haastattelukysymykset tulee laatia siten, että ne eivät ole liian polveilevia eikä liian laa-
joja. Hyvässä tutkimuskysymyksessä on vain yksi fokus, johon vastaajan on helppo tart-
tua. Kysymyksen ei kuitenkaan tule olla sellainen, johon pystyy vastaamaan ”kyllä” tai
”ei”. Toisaalta polveileva keskustelu saattaa tuoda muuta tarpeellista tietoa. Haastatte-
lun alkuun haastattelijan on hyvä lyhyesti esitellä itsensä, sekä haastattelun aihepiiri ja
miksi kyseinen haastattelu järjestetään. Tämä on syytä suorittaa mahdollisimman epävi-
rallisesti, jotta haastateltavalle ei synny kuvaa virallisesta kuulustelusta. Myös haastatte-
lun kulku ja kerättyjen tietojen säilyttämisen periaatteet on hyvä kertoa haastateltavalle.
[46, s. 20, 32-33]

Haastattelutilanteessa hyvä haastattelijä on läsnä ja pyrkii kuuntelemaan tarkasti haas-
tateltavaa havainnoiden samalla kehonkieltä ja painotuksia. Haastateltava antaa jatku-
vasti piiloviestejä, joita ei esimerkiksi litteroiduista haastatteluista saa selville. Jos haas-
tattelijä on tilanteessa läsnä, hän voi tehdä tärkeitä tulkintoja näistä piiloviesteistä. Tutki-
jan tulee kuitenkin tarkkaan harkita, voiko hän tätä ”piilotietoa” hyödyntää [44, s. 64].
Haastattelijan tulisi rohkaista vastaajaa antamalla palautetta sanomalla vähintään ”joo”
tai ”niin”, mielellään enemmänkin. Myös pienillä lisäkysymyksillä saa hyvin haastatelta-
vaa rohkaistua. Haastattelijan tulee olla joustava ja sallia haastateltavan sivupolut, mutta
kuitenkin haastattelijan tehtävänä on pitää keskustelun fokus haastattelun aihepiirin si-
sällä. [46, s. 24, 118]

Jos haastattelu nauhoitetaan, voi haastattelijä palata haastatteluun uudelleen ja uudel-
leen. Haastattelijan on hyvä kuitenkin pärjätä tarvittaessa ilman nauhoitusta, koska kaikki

haastateltavat eivät välttämättä hyväksy nauhoitusta. Haastattelun nauhoittamiseen tulee joka tilanteessa olla haastateltavan lupa. Mikäli haastattelu nauhoitetaan, on haastateltavalle kerrottava aluksi ketkä haastatteluun pääsevät käsiksi ja miten sitä käytetään ja säilytetään. [45] Haastattelussa on hyvä kirjata muistiin tukisanoja tai lauseita muistamisen tueksi, mutta muistiinpanojen tekeminen ei saisi haitata keskustelua. Haastattelun seitsemän sääntöä aloittelevalla haastattelijalla mukaillen lähdettä [46, s. 23]:

- Osoita kiinnostusta
- Osoita tietämättömyyttä
- Osoita kunnioitusta
- Älä tuomitse äläkä arvioi
- Anna tilaa
- Ota kiinni tärkeistä sanoista ja äänenpainoista
- Opi olemaan hiljaa ja sietämään hiljaisuutta.

2.5.3 Havainnointi tiedonhankintamenetelmänä

Havainnoinnissa hankintaan tietoa ihmisten käyttäytymisestä ja toiminnasta, kuten esimerkiksi miten jotain asiaa käytetään tai miten ihmiset toimivat tietyissä vuorovaikutustilanteissa. Järvinen et al. jakaa havainnoinnin kahteen ryhmään: ulkopuoliseen ja osallistuvaan havainnointiin [41]. Ulkopuolinen havainnointi tarkoittaa tilannetta, jossa tutkittavat tietävät olevansa tutkimuksen kohteena, mutta tutkija ei kuitenkaan osallistu tekemiseen. Osallistuvassa havainnoinnissa tutkija osallistuu prosessiin osana sitä. Tässä muodossa sosiaaliset vuorovaikutustaidot ovat keskeisessä osassa, ja tutkija voikin omalla toiminnallaan vaikuttaa tutkimuksen kulkuun. Näiden välimuoto on vielä piilohavainnointi, jossa tutkija osallistuu täysillä tutkittavien elämään, mutta sitä ei kerrota tutkittaville. Eettisesti piilohavainnointi on kuitenkin harmaalla alueella, koska tutkittavat eivät tiedä olevansa tutkimuksen kohteena [41, s. 71].

Haaste ulkopuolisessa havainnoinnissa on se, että tutkija saattaa keskittyä epäoleelliseen luullessaan sen olevan keskeistä ja toisaalta oleellista voi jäädä havainnoimatta. Havainnointi on aikaa vievä tiedonhankintamenetelmä, eikä sen avulla saada välttämättä ollenkaan selville mahdollisia poikkeustilanteita. [41, s. 154] Kun tutkija menee osaksi prosessia, puhutaan osallistuvasta havainnoinnista. Työpisteellä työntekijän vieressä seuraaminen täytyy toteuttaa hienotunteisesti ja mahdollisimman vähän työntekoa häiriten [45, s. 154]. Toisaalta tutkijan osallistuminen näkyvästi saattaa muuttaa tutkittavien

toimintatapoja, jolloin saatavat tulokset eivät ole kaikilta osin käyttökelpoisia. Muistiinpanojen tekeminen voi olla työlästä, jos sen yrittää tehdä salassa tutkittavilta. [41, s. 155] Havainnointi tulee kyseeseen tiedonhankintamenetelmänä esimerkiksi silloin, jos tutkitavasta ilmiöstä tiedetään vain vähän tai ei laisinkaan tai muut menetelmät eivät sovellu. [44, s. 69]

3. NYKYTILAN SELVITYS

Kohdeyritys on keskittänyt tuotantonsa korkealaatuisiin vaativien olosuhteiden tuotteisiin, jotka voidaan rakenteensa perusteella jakaa kahteen pääluokkaan, joista tässä työssä jatkossa käytetään nimityksiä 1. ja 2. tuotetyyppi. Tuotetyyppien käyttötarkoitus on erilainen, ja niihin käytettäviä materiaaleja ja komponentteja on optimoitu juuri kyseisiä käyttötilanteita varten. Kohdeyrityksen tuotteet valmistetaan valtaosin käsityönä, eikä automaatiota vielä hyödynnetä monessakaan työvaiheessa. Tutkittavalla alueella tuotteiden komponenttien materiaalivirta on joitakin poikkeuksia lukuun ottamatta toteutettu täysin manuaalisesti. Ilman automaatiota hoidetut työvaiheet sekä tuotteiden valmistuksessa että materiaalien kuljetuksessa tarkoittavat inhimillisten virheiden mahdollisuutta ja jopa todennäköisiä virheitä. Materiaalivirta komponenttien osalta on myös nykytilanteessa täysin dokumentoimaton, mikä vaatii pikaisia muutoksia tuottavuuden ja laadun parantamiseksi.

Sivulla 22 kuvassa 5 on esitettynä tämän tutkimuksen luokittelu kaikkien tutkimusten joukossa. Tutkimukset jaetaan yleensä kahteen kategoriaan: laadulliseen ja määrälliseen. Tässä työssä tarvitaan molempia tutkimussuuntia. Laadullista tutkimusta on esimerkiksi ihmisten toiminta, kun taas määrällistä tutkimusta tarvitaan muiden muassa läpimenoaikojen ja varastoitavien nimikkeiden selvittämiseen. Tämän työn tutkimus ei ole luonteeltaan matemaattinen, vaan reaalimaailmaa koskeva, jossa tutkitaan ihmisten käyttäytymistä ja erään työkalun soveltuvuutta. Tutkimus on empiirinen, jossa sovelletaan jo olemassa olevaa teoriaa kohdeyrityksessä havaittuihin haasteisiin eli uuteen teoriaan. Nykytilaan perehdyttiin haastatteleamalla tuotannon parissa työskenteleviä toimihenkilöitä ja tuotannon operaattoreita. Osallistuvalla ja ulkopuolisella havainnoinnilla saatiin myös tukea haastatteluiden tuloksiin. Tarkemmin tiedonhankinnasta on kerrottu aliluvussa 3.5.

3.1 Kohdeyrityksen tuotantoprosessi

Kohdeyrityksessä valmistetaan vakiotuotteita, erilaisia aktiivisia valmistettavia tuotetyyppejä on tätä kirjoitettaessa vajaat 300. Kohdeyrityksen strategiaan kuuluu markkinaosuu- den laajentaminen entistä laaja-alaisemmaksi, mikä tarkoittaa muun muassa tuoteportfolion rajua laajentamista ja tasaisempaa laatua. Valmistettavien tuotteiden koko ja muoto vaihtelevat paljon, kevyimmät tuotteet painavat noin 40 kiloa ja painavimmat yli

1000 kiloa. Yhteen tuotteeseen tarvittavia komponentteja on 5-25 erilaista. Nykytilanteessa erilaisia komponenttinimikkeitä on reilut 2000, ja lähivuosina uusien tuotteiden myötä komponenttien nimikemäärä kasvaa huomattavasti. Tehdas toimii imuohjauksella eli tuotteiden valmistus aloitetaan vasta, kun lopputuotteille on olemassa tilaus. Joidenkin kysytyimpien tuotteiden kohdalla tuotantoa suunnitellaan myös asiakkaiden antamien ennusteiden perusteella.

Valmistuksen ensimmäinen vaihe on raaka-aineiden vastaanotto. Tarkistuksen ja tarvittavien laadunvarmistustoimenpiteiden jälkeen aloitetaan alkuvalmistus. Alkuvalmistuksesta toimitetaan jalostetut raaka-aineet komponenttivalmistukseen, johon tulee myös muita raaka-aineita. Raaka-aineista valmistetaan tarvittavat komponentit, joita tuotteesta riippuen on 5-25 erilaista. Kokoonpanossa komponenteista kootaan aihio, joka tuotetyypin 1 tapauksessa välivarastoidaan ennen toista kokoonpanovaihetta. Myös osa tuotetyypin 2 tuotteista välivarastoidaan, mutta osa menee toiseen kokoonpanovaiheeseen suoraan. Kokoonpanon jälkeen tuotteita prosessoidaan, pienemmillä on yksi prosessointivaihe, kun taas suuremmilla tuotteilla prosessointivaiheita on kaksi. Viimeistelyvaiheessa tarkastetaan ja korjataan mahdolliset pienet laatupoikkeamat ja saatetaan tuote lähetyskuntoon.

Eri tuotteisiin tarvittavat komponentit eroavat toisistaan sekä mitoiltaan että materiaaliominaisuuksiltaan. Saman kategorian komponentit voidaan valmistaa useista eri materiaaleista, ja komponentin koko määräytyy lopputuotteen mukaan. Kuitenkin komponentin tyyppi ja muoto ovat aina yhden komponentin tapauksessa sama, samoin kuin varastointiyksikön tyyppi. Pääsääntöisesti komponentit on suunniteltu pelkästään kyseistä lopputuotetta varten, mutta joitakin komponentteja voidaan käyttää useissa eri tuotteissa. Varastointiyksiköt mitoitetaan komponenttien maksimikoon mukaan, yleensä leveyden mukaan. Joidenkin varastointiyksiköiden koko vaikuttaa myös niiden varastointiin, sillä hyllyihin varastoitavien yksiköiden tapauksessa leveys on keskeistä. Hyllypaikat onkin tehtaalta jaettu kolmeen luokkaan: kapea, keskileveä ja leveä. Turvallisuussyistä kapeaan paikkaan ei ole mahdollista varastoida keskileveitä tai leveitä.

Tilaukset luodaan ERP:iin, josta se siirtyy APS:iin. APS:ssa tilaukset aikataulutetaan, toisin sanoen uuden tilauksen tullessa lisätään se ensimmäiseen mahdolliseen vapaaseen kohtaan. Yrityksessä tuotanto toimii erätuotantona yhden tuotantosarjan ollessa prosessointivaiheessa normaalissa tuotantotilanteessa tyypillisesti kooltaan 25-400 kappaletta. Eräkokoa määräytyy tuotteen prosessointivaiheen keston mukaan. Kokoonpanossa sarjakoot ovat tyypillisesti 15-60 kappaletta. Eräkokoa rajoittaa muiden muassa aihioden rajalliset varastointitilat ja komponenttivalmistuksen kapasiteetti. Yhteensä tehtaassa valmistettavia komponentteja on yli 2000 erilaista, ja pienistä varastointitiloista

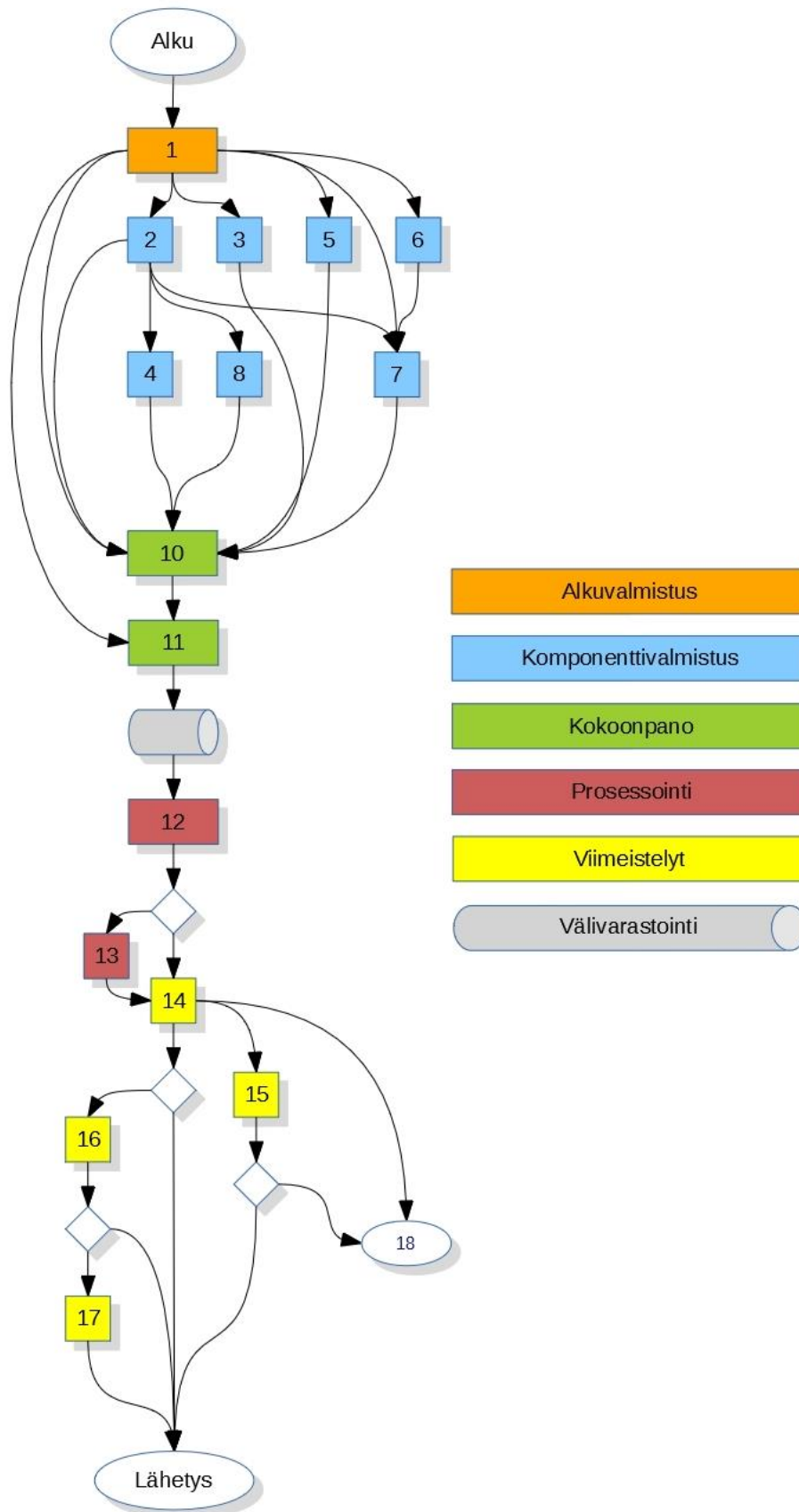
johtuen niiden valmistaminen hyvissä ajoin varastoon ei ole mahdollista. Myös materiaalin ominaisuudet asettavat varastoinnin kestolle rajat, sillä alkuvalmistuksen ja prosessoinnin välissä saa kulua maksimissaan kuukausi aikaa.

Tuotannonsuunnittelija laatii tuotantosuunnitelman APS-järjestelmässä, josta tuotannon ohjaaja vapauttaa tarvittavien komponenttien tilaukset MES:iin. Tilauksia vapautetaan komponentin valmistuksen kestosta riippuen yleensä 2-3 päivän tarpeen verran. Satunnaisesti tilauksia vapautetaan pidemmällekin aikajaksolle, jos tuotannonohjaaja havaitsee, että jotakin haastavista komponenteista on hetken kuluttua tulossa lisää ja tuotantotilanne sallii suuremman erän tekemisen samalla kertaa. Vapautetuista tilauksista muodostuu jokaiselle komponenttivalmistuksen työpisteelle työjono MES:iin, jonka mukaan tuotteita tehdään. Jatkossa MES-päätteitä lisätään yhä useammalle työpisteelle, jolloin voidaan vähentää paperisia työmääriä ja kokoonpanokarttoja. Edistymien dokumentointi päivittyy jo nykytilanteessakin automaattisesti.

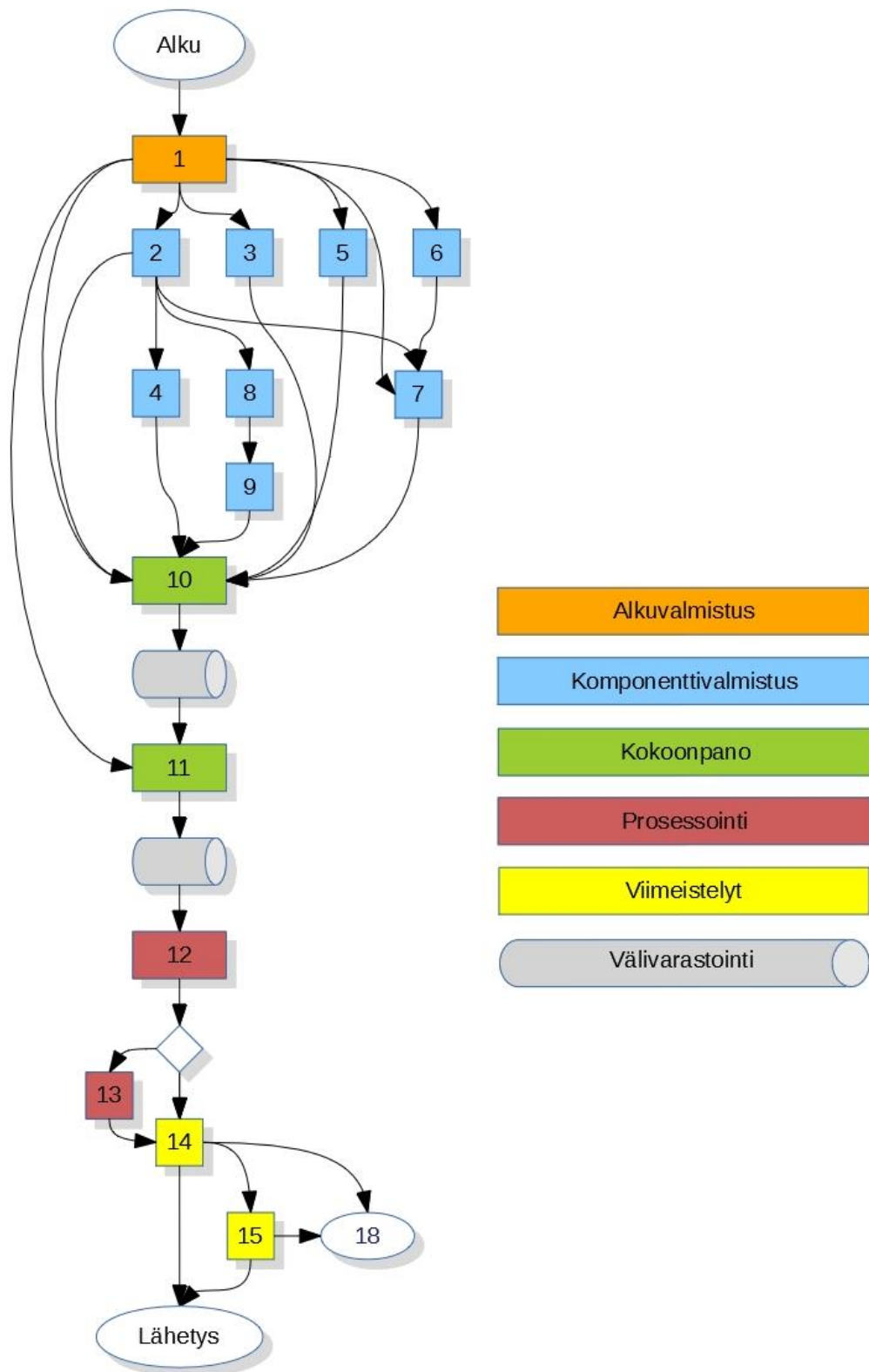
Operaattoreilla on mahdollisuus tehdä valitsemassaan järjestyksessä komponentit, kunhan ne valmistuvat tarveaikaan mennessä. Operaattori kuittaa komponenttien valmistuksen aloituksen MES:iin, jolloin erän status muuttuu työjonolta tuotantoon. Kokoonpanokoneen PLC:lta sarjan materiaalitiedot siirtyvät MES:iin ja edelleen APS:iin. Komponenttivalmistuksen edistymätiedot operaattori kirjaa MES-päätteeltä. Komponenttierän ollessa valmis kuitataan erä valmistuneeksi, ja tulostetaan tarra, josta ilmenee komponenttierän yksilöintitiedot. APS:stä näkee reaaliaikaisen operaatiokohtaisen tilanteen jokaiselle kokoonpanon koneelle, joissa on käytössä nykyaikainen ja muihin järjestelmiin integroitu logiikka. Kokoonpanokoneilla ei toistaiseksi ole MES:iä käytössä, vaan työn ohjaaminen tapahtuu täysin manuaalisesti. MES on kuitenkin tulossa käyttöön myös kokoonpanossa vuoden 2019 syksyllä.

Tuotannon päivittäisessä ohjaamisessa hyödynnetään kokoonpanokarttaa eli dokumenttia, josta ilmenee mitä tuotetta tehdään milläkin koneella. Kokoonpanokartta laaditaan tuotannonohjauksen, -suunnittelun, vuorotyönjohdon ja osaston esimiesten yhteistyössä, ja pohjana siinä on APS:n tuotantosuunnitelma. Suunnitelman ja toteutuman suhdetta seurataan päivittäisissä palaverissa. Kartasta ilmenee jokaisen kokoonpanokoneen suunnitelma seuraavaksi vuorokaudeksi: mitä tuotetta aiotaan tehdä, minkä verran, millä koneella ja kuka on koneen operaattori. Kokoonpanokartan tietojen perusteena on MES:n suunnitelma, joka kootaan yhdeksi taulukoksi. Kokoonpanokartat toimitetaan tuotannon päivittäisestä operatiivisesta toiminnasta vastaaville henkilöille ja jokaiseen tuotannon työntekijöiden taukotilaan.

Kohdeyhteyksen päivittäisissä palavereissa seurataan KPI-mittareilla muiden muassa tapaturmia, romutettuja aihioita ja tuotteita, jätemääriä, tuottavuutta ja normitoteumaa. Komponenttivalmistus seuraa materiaalipuutteista johtuvia kokoonpanon jättämiä minuutteina joka päivä, kokoonpanossa seurataan prosessointivaiheen jättämiä ahiopulan vuoksi. Komponenttivalmistukselle, kokoonpanon eri osastoille ja prosessoinnille on jokaiselle asetettu tavoitteita, esimerkiksi jätteen määrästä. Tavoitteita päivitetään vuosittain. Näiden lisäksi seurataan laatuongelmista aiheutuvia korjauksia ja romutuksia. Seuraavissa kuvissa (kuvat 6 ja 7) on graafisesti esitetty molempien tuotetyyppien prosessit. Aiempien tutkimusten perusteella tuotteiden läpimenoaika on keskimäärin 6,7 päivää, josta tuottavan työn osuus on keskimäärin 243 min.



Kuva 6: Prosessikaavio, tuotetyyppi 1



Kuva 7: Prosessikaavio, tuotetyyppi 2

Kuvien 6 ja 7 numeroinneille on selitteet liitteessä A. Kuvassa 6 on tuotetyypin 1 prosessikaavio. Eri valmistuksen vaiheet on kuvaan merkitty eri värein. Vaiheessa 1 valmistetaan raaka-ainetta komponenttivalmistuksen tarpeisiin. Vaiheet 2-9 ovat komponenttien valmistusta, kun taas 10-11 vaiheet kuvaavat kokoonpanoa. Kaikilla tuotteilla on prosessointivaihe 12 ja joillakin sen lisäksi toinen prosessointivaihe 13. Vaiheissa 14-15 tuotteet tarkastetaan, viimeistellään ja laatu poikkeamat pyritään korjaamaan. Joihinkin tuotteisiin myydään lisäpalveluna vaiheet 16 ja 17. Jos tuotteessa on laatu poikkeama, jota ei pystytä korjaamaan, tuote romutetaan vaiheessa 18. Kuvassa 7 on tuotetyypin 2 prosessikaavio. Kuvia 6 ja 7 vertailemalla havaitaan, että prosessikaavioiden keskeinen ero on tuotetyypin 2 ylimääräinen välivarastointi vaiheiden 10 ja 11 välissä, mitä tyypissä 1 ei ole. Tyypin 2 tuotteisiin ei ole tarjolla lisäpalvelua (vaiheet 16 ja 17 prosessikaaviossa 1). Muuten molempien tuotetyyppien valmistusprosessit ovat samantapaiset.

Alkuvalmistuksessa (vaihe 1) valmistetaan materiaalia tuotantoprosessin myöhempiä tarpeita varten. Raaka-aineet alkuvalmistukseen tulevat tehtaan ulkopuolelta. Alkuvalmistuksen tuotteita tarvitaan melkein jokaisessa komponenttivalmistuksen vaiheessa, mutta tarvittavat ominaisuudet vaihtelevat. Samaa erää ei siis voi käyttää kaikissa vaiheissa. Komponenttivalmistuksessa valmistetaan kaikki komponentit, joita kokoonpanovaiheissa tarvitaan. Mitään komponenteista ei tule tehtaan ulkopuolelta, eikä alihankintaa käytetä. Kuviiin 6 ja 7 ei ole merkitty komponenttien välivarastointivaiheita, mutta lähes jokaista komponenttia varastoidaan muutamia päiviä ennen kokoonpanoa. Vaiheet 6 ja 7 tehdään peräjälkeen ja työpisteet sijaitsevat vierekkäin, jolloin niiden välissä ei ole erillistä välivarastoa.

Kokoonpanon aikana kootaan komponenttivalmistuksen tuottamista komponenteista runko vaiheessa 10. Vaiheessa 11 vielä lisätään rungon päälle alkuvalmistuksesta tullutta materiaalia. Materiaalinlisäyksen jälkeen käytetään nimitystä aihio. Tuotetyypin 1 tapauksessa runkoja ei siirretä erilliseen varastoon vaiheen 10 jälkeen, vaan ne otetaan suoraan käsittelyyn. Pieniä puskureita saattaa kuitenkin olla, koska vaiheiden 10 ja 11 vaiheajoissa saattaa olla eroja. Tyypin 2 tuotteet varastoidaan myös kokoonpanon vaiheiden välissä. Periaatteena kuvissa kokoonpanon osalta on, että jos aihio tai runko kuljetetaan erilliseen varastointipaikkaan, on se kuviiin merkitty välivarastointivaiheena. Jos taas välivarastointi tapahtuu siten, että aihio vain lasketaan lattialle seuraavaa vaihetta odottamaan, sitä ei ole kuvissa merkitty.

Prosessoinnissa aihiota käsitellään kuumentamalla ja paineistamalla (vaihe 12), jolloin materiaalit saavuttavat halutut ominaisuudet ja tuote halutun muodon. Prosessointi kestää tyypillisesti puolesta tunnista kahdeksaan tuntiin, riippuen täysin tuotetyypistä ja tuotteen koosta. Isoimpien tuotteiden kohdalla jäähdytys prosessointilämpötilasta pitää

tehdä hallitusti, jolloin tarvitaan vaihe 13. Lähes jokaisessa tuotteessa on prosessoinnin jäljiltä viimeistelylle tarve. Pienemmät korjaukset hoidetaan laaduntarkistusten yhteydessä, ja mahdollisten isommat viat erillisessä korjauspisteessä vaiheessa 15. Viimeistelyjen jälkeen tuotteet lähetetään varastoon, josta ne kuljetetaan edelleen jälleenmyyjille ja asiakkaille ympäri maailman. Valmiiden tuotteiden varasto sijaitsee muutaman kilometrin päässä tehtaasta, ja varastolla myös tehdään tuotteiden varustelua asiakkaiden tarpeita vastaaviksi. Mikäli tuote osoittautuu käyttökelvottomaksi, se romutetaan vaiheessa 18.

3.2 Komponenttien materiaalivirta

Komponenttien valmistuessa jokaiseen erään tulostetaan tarra, josta ilmenevät erän yksilöintitiedot, kuten erätunniste, sarjanumero, tuotekoodi ja määrä. Tarkempi kuvaus ja esimerkit tunnistetarran tiedoista on liitteessä E. Materiaalivastaavat saavat työvuoronsa aluksi kokoonpanokartan, josta ilmenee mitä tuotteita aiotaan valmistaa milläkin koneella. Kokoonpanokartan ja komponenttierästä löytyvän tuotekoodin perusteella materiaalivastaavat osaavat kuljettaa tarvittavat komponenttierät oikeille koneille. Komponentit pyritään kuljettamaan valmiiksi kokoonpanokoneen ympäristöön ennen sarjan alkua. Materiaalipuutteiden ilmentyessä kokoonpano-operaattorin ja materiaalivastaavan välillä tieto saattaa liikkua suullisesti, sosiaalisessa mediassa, tekstiviestillä tai muuta tapaa käyttäen. Suorasta kommunikaatiosta johtuen työvuorojen raportteihin ei välttämättä jää mitään merkintöjä tällaisista tilanteista.

Tehdastilojen ahtaudesta ja sokkeloisuudesta johtuen komponenteille ei ole yhtä selkeää varastointipaikkaa, vaan paikkoja on useita eri puolilla tehdasta. Varastointiyrsköitä on tyypiltään neljää erilaista, ja jokaiselle tyyppille on vielä useita eri kokoja. Jokaisen kategorian yksiköille on omat paikkansa, myös kategorian sisällä paikoille voi olla rajoitteita esimerkiksi leveyden takia. Komponenteille ei ole yhtä isoa varastointitilaa tai -hellyä, vaan paikkoja on ympäri tehdasta, kuten liitteestä H voidaan havaita. Lattialla säilytettävälle varastointiyrsköille on selkeämmin määritelty alueet, joilla niitä säilytetään. Hellyissä säilytettävät yksiköt ovat kooltaan suurimpia yksiköitä, ja niille mahdollisia paikkoja on paljon enemmän. Toisaalta hellyissä säilytetään muutakin tuotantotavaraa kuin vain kyseisen kategorian varastointiyrsköitä.

Komponentteja tilataan juuri tarvittava määrä. Joidenkin komponenttien luonteesta johtuen niitä saattaa kuitenkin jäädä kokoonpanosarjan jälkeen ylimäärin, jotka sitten kuljetetaan takaisin varastoihin. Osa komponenteista käsitellään metritavarana, josta kokoonpanossa operaattori katkaisee tarvittavan määrän. Jos komponentissa on laatuongelmaa, se joudutaan viemään jätteeksi, jolloin alkuperäinen määrä ei riitä koko sarjalle.

Joskus kokoonpanosarjan jatkuminen taataan lainaamalla kyseinen komponentti seuraavasta sarjasta, jolloin seuraavaan sarjaan tarvittavia komponentteja ei ole riittävästi. Vastaavasti joskus metritavarana käsiteltävistä komponenteista jää ylimääräistä sen verran, että se päätetään säilyttää mahdollista tulevaa tarvetta varten. Viikoittaisissa inventoinneissa ylijääneiden määrä selvitetään, ja tarvittaessa seuraavan kerran kyseistä komponenttia tilattaessa tarkistetaan määrä.

Toinen tilanne, jolloin komponentteja jää ylimäärin on sarjan keskeytyminen. Joskus sarja joudutaan keskeyttämään viallisten, huonolaatuisten tai puutteellisten materiaalien takia. Muut komponentit jäävät tällöin käyttämättä. Tuotevaihtojen haasteellisuuden takia muutamien kappaleiden sarjoja ei ole järkevää valmistaa, joten kesken jääneitä ei yleensä valmisteta loppuun. Sarjan loppuminen kompensoidaan valmistamalla kyseistä tuotetta seuraavassa sarjassa vastaava määrä enemmän. Komponenttien inventoinneissa haasteena on mittaamisen epätarkkuus. Valmistettavaan tuotteeseen menevä määrä tiedetään, mutta suuren sarjan ollessa kyseessä voi kokonaismäärässä olla heittoa. Komponenttien kulutusta kokoonpanokoneilla ei mitata mitenkään. Mahdollisen laatuongelman tapauksessa operaattori ei mittaa romutettavaa määrää, vaan se menee kaikkien muiden valmistuksessa syntyneiden jätteiden kanssa kierrätykseen. Siten varastointiyksikössä jäljellä olevan materiaalin määrää on mahdotonta sanoa tarkasti.

Komponenttien valmistuessa liitetään materiaaalierään tarra, johon tulostetaan seuraavat tiedot: komponenttikone, kokoonpanokone, tuotekoodi ja –kuvaus, komponentin kuvaus, mahdollinen lisätieto, materiaaalierän koodi, komponentin määrä, operaation tunnus, valmistumisaika ja operaattorin tunnus. Komponentteja varastoidaan niille tarkoitetuissa varastointiyksiköissä. Muutamissa komponenttityypeissä ei toistaiseksi ole käytössä yksilöintiä eikä tarroja, joten ne jätetään tässä vaiheessa WMS:n ulkopuolelle. Erilaisia varastointiyksiköitä on 15 kpl, jotka voidaan luokitella neljään kategoriaan. Eri kategorioiden luokittelu löytyy liitteestä C. Kaikkiaan varastointiyksiköitä on yhteensä 731 kpl. Seuraavassa luvussa on esitelty tarkemmin varastointiyksiköt. Varastointiyksiköitä inventoidaan aika-ajoin, viimeisin inventointi on tehty tammikuussa 2015. Tällöin yksiköt on myös merkattu juoksevilla numeroinnilla. Seuraavassa aliluvussa tarkastellaan tarkemmin varastointiyksiköitä ja niissä varastoitavia nimikkeitä.

3.2.1 Varastointiyksiköt ja -nimikkeet

Erilaisia varastointiyksiköitä kohdeyrityksessä tutkimusalueella on kaikkiaan 15 erilaista, jotka jakaantuvat varastoitavan komponenttityypin mukaan neljään kategoriaan. Tietyn kategorian varastointiyksikköön on mahdollista varastoida eri komponentteja, jotka rakenteensa puolesta sopivat varastointiyksikköön. Komponentteja tarvitaan eri tuotteissa

eri levyisinä, joten myös varastointiyksiköiden eri leveyksille on tarvetta. Esimerkiksi kategorian 1 varastointiyksiköitä on kaikkiaan neljää eri leveyttä: 1200, 1600, 2400 ja 2600 mm leveitä. Yhteensä yksiköitä tutkittavalla tuotannon alueella on käytössä 731 kpl. Kohdeyrityksessä varastointiyksiköiden inventoinnista vastaa tuotannonohjausyksikkö. Tarkka listaus erityyppisistä yksiköistä ja niiden lukumääristä löytyy liitteestä C.

Varastointiyksiköt on numeroitu juoksevalla numeroinnilla. Enimmillään yhdentyyppistä varastointiyksikköä on 150 kappaletta, jolloin niiden numerointi lähtee 001:stä päättyen 150:een. Numerointi auttaa lähinnä yksiköiden inventoinneissa ja kunnossapitotoimenpiteitä tehtäessä, mutta niitä ei operatiivisessa tuotannossa nykyisellään hyödynnetä. Kategorian 1 varastointiyksiköt varastoidaan pääsääntöisesti hyllyissä. Hyllypaikkojen ollessa täynnä voi materiaalivastaava jättää kyseisen yksikön lattialle esimerkiksi hyllyjen väliin. Tämä on kuitenkin ongelmallista, koska silloin yksikkö estää pääsyn kyseisille hyllyille. Kategorian 2,3 ja 4 yksiköt säilytetään lattialla niille merkityillä alueilla. Kategorian 3 yksiköitä ovat kooltaan sen verran pieniä, että niitä kuljetetaan erillisillä kuljetusalustoilla maksimissaan 6 yksikön setteinä.

Varastoitavat nimikkeet voidaan kohdeyrityksessä yksilöidä komponenttierän tunnisteen mukaan. Jokaisessa komponenttierässä on tunnus, joka koostuu kirjaimesta ja 5-6 numerosta. Kirjain tunnuksen edessä kertoo komponentin valmistuskoneen, 5 seuraavaa numeroa on juokseva numerointi. Tavanomaisesti valmistettavat erät ovat suurempia kuin yhden varastointiyksikön varastointikapasiteetti. Tilauksen jakaantuessa useampaan erään käytetään vielä lisänumeroa. Esimerkiksi R12345-2 tarkoittaa tiettyä komponenttikonetta, tilauksen sarjanumeroa 12345 ja erää 2. MES:ssä komponenttieriä käsitellään erätunnuksen mukaan. Erän valmistuessa varastoitavan nimikkeen tiedot tuodaan suoraan MES:stä. Nykytilanteessa erätunnuksia hyödynnetään tuotteita kokoonpantaessa. Kokoonpanossa käytettävien materiaalien tunnuksat luetaan viivakoodinlukijoilla, ja materiaalien tiedot tallentuvat MES:n materiaalitietoihin tuotteiden jäljitettävyyttä varten. Toistaiseksi MES-päätteitä ei kuitenkaan ole käytössä kuin kahdessa kokoonpanopisteessä.

3.2.2 Varastoalueet kohdeyrityksessä

Kuten yllä kerrottiin, varastointiyksiköt jakaantuvat neljään eri kategoriaan. Kategorian 1 yksiköt varastoidaan lattialle tai hyllyköihin. Muiden kategorioiden yksiköt varastoidaan pääasiassa lattialle. Tutkimuksissa tehtaalta löydettiin kategorian 1 yksiköille soveltuvia hyllyjä yhteensä 32 kpl, joissa paikkoja yksiköille on yhteensä 168 kpl. Nimettyjä lattiapaikkoja löytyi kategorian 1 varastointiyksiköille 6 kpl. Varastopaikkojen laskennan ai-

kana lukuisia yksiköitä oli säilytyksessä lattialla epävirallisilla paikoilla. Kategorian 1 yksiköitä on yhteensä 243 kpl. Säilytyspaikkojen ja yksiköiden määrän välistä eroa selittää se, että kyseisiä yksiköitä on jatkuvasti komponenttivalmistuksen ja kokoonpanon koneilla, joko komponenttien tuottamista tai käyttämistä varten. Varastointipaikoissa ei ole huomioitu koneessa olevia paikkoja eikä koneiden vierellä lyhytaikaiseen säilytykseen tarkoitettuja paikkoja.

Kategoriaan 2 kuuluvia varastointiyksiköitä on kolmea eri tyyppiä leveyden mukaan: 500, 800 ja 1000 mm. Yhteensä kategorian 2 varastointiyksiköitä on 71 kpl. Näille varastopaikkoja on ainoastaan tehtaan lattialla, ja nimettyjä alueita on 4 kpl. Varastointiyksiköt eivät ole säännönmukaisessa järjestyksessä, vaan satunnaisesti sijoiteltuna. Kategorian 2 yksiköt eivät mahtuisi kaikki nimetyille alueille, koska kokoonpanokoneiden ympäristössä myös säilytetään tuotantoon meneviä komponentteja. Kategorian 3 varastointiyksiköt ovat kooltaan pienimpiä ja lukumäärältään suurin ryhmä: 313 kpl. Yhden yksikön kapasiteetti on pieni, joten kategorian 3 varastointiyksiköitä joudutaan vaihtamaan monta kertaa kokoonpanosarjan aikana. Kuljetus tapahtuu 4-6 yksikön setteinä siihen tarkoitettulla kuljetusalustalla. Tehtaalta löytyi tutkimuksissa 22 kpl paikkoja kuljetusalustoille sekä koneiden ympäriltä 17 kpl. Yhteensä varastointiyksiköitä näille paikoille mahtuu 156 kpl.

Kategorian 4 varastointiyksiköitä on kaksi eri tyyppiä jaoteltuna vanhoihin ja uusiin. Jaottelun perusteena on varastointiyksiköiden hiukan erilainen rakenne, minkä perusteella ne on mahdollista erottaa toisistaan. Komponentteja on useita erikokoisia, mutta kaikki pystytään varastoimaan samoihin yksiköihin. Näille yksiköille on kohdeyrytyksessä kaksi isompaa varastointialuetta komponenttien valmistuskoneiden läheisyydessä. Jokaisella kokoonpanokoneella on lisäksi paikka yhdelle varastointiyksikölle kokoonpanossa tarvittavia komponentteja varten. Tehtaan yksinkertaistettu pohjapiirros on liitteessä H. Pohjapiirrokseseen on merkattu jokaisen varastointiyksikön merkityt varastointipaikat. Usein tehtaalla varastointiyksiköitä säilytetään merkkeamattomissa paikoissa, kuten hyllyjen välissä lattialla, mutta tällaisia paikkoja ei pohjapiirrokseseen ole piirretty. Seuraavana olevassa taulukossa 3 on selitetty pohjapiirroksen värien merkitykset. Pohjapiirros on suuntaa antava, eivätkä sen mittakaavat vastaa todellisuutta 100 % tarkkuudella.

Taulukko 3: Varastoalueiden värit

Yksikön kategoria	Yksikön väri
1	sininen
2	punainen
3	vihreä
4	keltainen

Kategorian 1 varastointiyksiköitä säilytetään hyllyissä. Pohjapiirroksessa jokaisen varastoalueen kohdalla on merkattu, montako paikkaa kyseisessä hyllyssä on varastointiyksiköille. Osa hyllyistä on varattu muiden kuin komponenttien varastointiin, mutta ne on silti piirretty pohjapiirrokseseen. Kategorian 2 varastointiyksiköille ei ole selkeitä paikkoja, ja yksiköiden rakenteen vuoksi niitä säilytetään lattialla. Tarkkojen paikkamäärien selvittäminen on haastavaa, joten pohjapiirrokseseen on merkattu vain alueet, mutta ei paikkojen lukumääriä. Kategorian 3 komponentteja varastoidaan yksiköihin, joita liikutellaan tehtaalla kuljetusalustoilla 4-6 yksikön setteinä. Myös näitä kuljetusyksiköitä säilytetään pelkästään lattialla niille varatuilla paikoilla. Pohjapiirrokseseen alueet on merkattu vihreällä ja lukumäärä tarkoittaa montako kuljetusalustaa kyseiselle alueelle mahtuu.

3.3 Tuotantoon liittyvät tietojärjestelmät kohdeyrityksessä

Kohdeyrityksessä on käytössä lukuisia tuotannon operatiivisia toimintoja tukevia ja ylläpitäviä tietojärjestelmiä. Näistä ISA-95 -standardin mukaisesti ylimmällä tasolla on ERP, jossa suunnitellaan ja hallinnoidaan yrityksen toimintoja karkealla tasolla. Uusien tilausten tiedot tulevat ERP:iin, johon on tallennettuna myös kaikkien tuotteiden valmistustiedot. Varastokirjanpitoa varten ERP:stä löytyy varastosaldot, mutta tehtaan operatiivisessa toiminnassa saldoja ei hyödynnetä. Tason 3 järjestelminä on käytössä APS ja MES. APS:ssa tuotannonohjaaja laatii tuotantosuunnitelman ERP:n tilauskannan perusteella. Tilauskanta siirtyy ERP:stä APS:iin automaattisesti, jossa tuotannonsuunnittelija käy uudet tilaukset hyväksymässä. Tuotannon toteumatiedot siirtyvät automaattisesti tuotantokoneiden PLC:ltä tai MES:stä APS:siin, josta reaaliajassa pystyy seuraamaan tuotantotilannetta. Toteumatiedot näkyvät gantt-näkymässä eri värein. Tuotannon resurssointia ei APS:ssa tehdä, vaan sitä varten on oma järjestelmänsä.

APS:ssa laaditun tuotantosuunnitelman mukaisesti tilaukset vapautetaan yksi kerrallaan MES:iin tarveajan mukaisessa järjestyksessä. Tuotannonsuunnittelija määrittää loppu-

tuotteiden sarjakoot ja tuotannonohjaaja laskee ja tilaa tarvittavat materiaalmäärät valmistusohjeiden mukaisesti. MES:ssä tuotantoa ei suunnitella, ainoastaan toteutetaan APS:n puolella laadittua tuotantosuunnitelmaa. Työpisteillä MES:stä löytyy kyseiselle koneelle tulevat työt tarveajan mukaisesti järjestettynä, mutta operaattorit voivat tehdä työjonosta töitä haluamassaan järjestyksessä. Operaattori voi esimerkiksi säästää vaihtoja asetusajoissa siirtämällä sarjan valmistamisen myöhemmälle. MES:n käyttöönottoprosessi on kohdeyrityksessä meneillään, tätä kirjoittaessa komponenttivalmistuksessa MES-päätteet ovat olleet jo pidempään käytössä, mutta kokoonpanon työpisteissä on meneillään pilottijakso.

Tiedot MES:n ja tuotantokoneiden PLC:ien välillä siirtyvät OPC-rajapintaa pitkin. PLC:ltä tiedot päivittyvät rajapintaan, josta esimerkiksi MES ja APS käyvät tiedot lukemassa. MES:n ja ERP:n välillä on myös rajapinta, josta päivitetään muun muassa ERP:iin valmistuneiden ja romutettujen tuotteiden saldot. Erilaisia WMS-järjestelmiä kohdeyrityksestä löytyy eri osastoilta (esimerkiksi kunnossapidon tarvikevarastosta ja lopputuotteiden varastoista). Tuotannossa ei kuitenkaan sellaista ole, ja sen puute on havaittu isoksi ongelmaksi. Tätä oletusta vahvistivat myös haastattelut ja havainnoinnit nykytilanselvityksen aikana. Seuraavassa luvussa käsitellään tarkemmin ongelmia, joita nykyisessä toimintatavassa on. Luvussa keskitytään kuitenkin haasteisiin, jotka on mahdollista ratkaista kokonaan tai ainakin osittain WMS-järjestelmää käyttämällä.

3.4 Keskeiset haasteet komponenttivarastoinnissa

Aiempien tutkimusten perusteella keskimääräinen tuotteen läpimenoaika on 6,7 päivää, josta arvoa tuottavaa aikaa on 243 minuuttia. 6,7 päivää minuuteiksi muutettuna on noin 9600 minuuttia. Tuotteen läpimenoajasta arvoa tuottavaa aikaa on tämän perusteella 2,5 %. Yli 97 % ajasta on arvoa tuottamatonta aikaa eli tuhlausta. Pääosa tuotteen arvoa tuottamattomasta ajasta on varastointia, esimerkiksi ennen prosessointia aihiot ovat väliivarastossa tavanomaisesti 1-3 päivää. Myös tuotteisiin tarvittavat komponentit valmistetaan muutama päivä ennen tarvetta. Tutkimuksen aikana esiin nousi lukuisia haasteita nykyisessä toimintatavassa. Näistä kolme merkittävintä on esitelty alla, joita olisi mahdollista tämän diplomityön puitteissa kehittää. Kehitysideat, joihin ei ole mahdollista tämän diplomityön sisällä vaikuttaa, on esitetty luvussa 6.2.

Tavaroiden etsiminen

Tavaroiden hakemiseen kuluu nykyisellään paljon aikaa, koska ajantasaista tietoa kunkin komponenttieron sijainnista ei ole. Kun tietty komponentti valmistuu, se kuitataan val-

mistuneeksi MES:iin ja siirretään välivarastoon. Välivarastot on merkitty siten, että kullekin varastoalueelle varastoidaan vain tiettyä komponenttia. Monien komponenttien tapauksessa vaihtoehtoisia varastointipaikkoja kuitenkin on useita ympäri tehdasta useassa eri kerroksessa. Ainoa tieto erän sijainnista on henkilöllä, joka tavaran on kuljettanut. Komponenttieraä tarvittaessa nykytilanteessa luotetaan siihen, että materiaalivastaava sen sattuu jostain löytämään. Haastatteluiden perusteella tavaroita on hukassa viikoittain, ja niitä joudutaan etsimään usean henkilön voimin useita tunteja.

Materiaalipuutteet

Materiaalipuutteita ilmenee päivittäin. Materiaaleja tilataan aina juuri tarvittava määrä, mutta esimerkiksi laatupuutteiden vuoksi saatetaan osa komponenttieraästä joutua hylkäämään. Jos jokin komponenteista loppuu, ovat vaihtoehdot silloin:

- A) yrittää etsiä, josko sopivaa jostain löytyisi
- B) lainata kyseistä komponenttia toisesta sarjasta
- C) pyytää komponenttivalmistusta valmistamaan kyseistä komponenttia lisää
- D) keskeyttää sarja

Yllä olevat vaihtoehdot ovat prioriteettijärjestyksessä. Jos ilmenee pieni puute, tavaraa yritetään etsiä aiemmin ylijääneistä komponenteista. Ylijääneistä tieto on tuotannonohjaajalla, joka tekee viikoittaisen inventoinnin. Välillä komponentteja lainaillaan toisilta projekteilta, mikä ratkaisee ongelman hetkellisesti, mutta siirtää haasteen seuraavalle sarjalle. Nopeasti valmistettavien komponenttien tapauksessa voidaan komponenttia valmistaa pieni erä kyseistä sarjaa varten. Tämä ei ole monessakaan tapauksessa realistinen vaihtoehto, koska tuotevaihdot ovat pitkiä eikä niitä tehdä lyhyen sarjan takia. Jos mikään ylläolevista ei ole mahdollista, sarja keskeytetään ja keskeneräiset tuotteet romutetaan, mikäli niitä ei pystytä myöhemmin hyödyntämään.

Tuotannossa materiaalipuutteita seurataan päivittäin. Vuoden 2019 viikoilla 1-23 materiaalipulia on kokoonpanossa keskimäärin ollut noin 3600 minuuttia viikkoa kohti, medianin ollessa 2900 minuuttia. Yleistettynä nämä minuutit voidaan johtaa komponenttivalmistuksen syyksi. Seurantaan raportoituja materiaalipuutteiden aiheuttajia ovat raaka-ainepuutteet, vääränlaiset raaka-aineet, tuotannonohjauksen virheet ja laatuongelmat komponenteissa. Liitteessä D on tarkemmin esitetty materiaalipulat. Niistä lasketun keskiarvon mukaan materiaalipuutteista johtuvia jättämiä olisi vuodelle 2019 tulossa yhteensä yli 170 000 minuuttia. Oletuksena on, että materiaalipulat jatkuvat samanlaisena ja tehdas toimii vuodessa 47 viikkoa.

Tuotannonohjaamisen haasteet

Operaattoreille annetaan 3 päivän työjono, joista he valitsevat haluamansa työt haluamassaan järjestyksessä. Tarveajat näkyvät operaattoreille, mutta mahdollisuus valita työjonosta saattaa aiheuttaa tilanteen, jossa helpot työt valitaan ja vaikeammat jäävät tekemättä. Tästä johtuen välillä tuotteita ajetaan 3 päivää etukäteen, mikä johtaa turhaan komponenttien odotteluun. Toisaalta joskus tuotteita ei ole tarveaikaan mennessä, jolloin sarjan aloittaminen siirtyy myöhemmäksi. Myös yhtenäisen toimintatavan puuttuminen poikkeustilanteissa aiheuttaa välillä ongelmia. Varastoinventaari tehdään nykyisin kerran viikossa. Tuotannonohjaajat kiertävät tuotannossa kirjaamassa ylijääneet tavarat manuaalisesti. Tarkkaa varastosaldoa ja varaston arvoa ei siten pystytä helposti määrittämään kirjanpitoa varten.

Käytettäessä WMS-järjestelmää komponenttisaldojen määrittäminen nopeutuu ja tulosten luotettavuus paranee, koska tieto on ajantasaisempaa ja virhetoleranssi pienempi. Digitaalisetkin ratkaisut edellyttävät säännöllistä inventointia. Saatavilla oleva tieto ei ole luotettavaa, ellei sitä säännöllisillä inventoinneilla pidetä yllä. Saldojen avulla voidaan määrittää varaston arvo kirjanpitoa varten. Ylijääneet komponentit sitovat aina varastointiyksikön ja -paikan. Ylijääneitä komponentteja saattaa kertyä varastoon niin paljon, että tyhjiä varastointiyksiköitä ei riitä komponenttivalmistukseen. Nykytilanteessa ei ole mitään keinoa selvittää nopeasti tyhjien, puoliksi täysien ja täysien varastointiyksiköiden määriä. Tuotannolle aiheutuu silloin merkittävää haittaa, kun varastointiyksiköitä joudutaan tyhjentämään ja valmistus joutuu sitä odottelemaan. Varastoon kertyneiden turhien komponenttien romuttaminen sekoittaa myös jätteen määrän seurantaan, koska tietylle päivälle kohdistuu silloin suuret jätelukemat, jotka todellisuudessa ovat kertyneet pitkän ajan kuluessa.

3.5 Haastattelukertomus

Haastattelut suoritettiin puolistrukturoidusti eli keskustelun aiheet ja kysymyslistaa oli etukäteen mietitty. Haastateltavalle annettiin kuitenkin vapaus kertoa myös muista aiheista, eikä keskustelua lähdetty rajoittamaan. Kysymyslista oli laadittu lähinnä haastattelijaa varten, jotta keskustelu pysyisi riittävästi haastattelun aihealueella. Toinen tarkoitus oli palauttaa mieleen seuraava aihe keskustelun tauotessa. Kysymyslista myös varmistui, että kaikki etukäteen mietityt asiat tulevat käsiteltyä. Esimerkki kysymyslistasta on liitteessä B. Haastatteluja tehtiin iteratiivisesti. Aluksi ei lyöty lukkoon, kuinka montaa ihmistä haastatellaan tai ketä haastatellaan. Ensiksi haastateltiin verstaaspäällikköä, jolta

kysyttiin haastattelun lopuksi suosituksia seuraaviksi haasteltaviksi. Näin edettiin organisaatiossa alaspäin. Aiheesta haastateltaville kerrottiin ennen haastattelua sen liittyvän diplomityöhön, mutta ei sen tarkemmin yksilöitynä.

Haastattelukysymykset päivittyivät haastatteluiden edetessä kohti spesifimpiä aiheita tutkijan ymmärryksen lisääntyessä. Aluksi lähdettiin liikkeelle yleisistä asioista, kuten tuotteiden valmistamisen periaatteista ja yleisistä käytännöistä. Haastattelujen edetessä kysymyksiä tarkennettiin esimerkiksi materiaalivirtaa koskien. Kysymykset vaihtelivat myös jonkin verran haastateltavan aseman mukaan, esimerkiksi toimihenkilöiltä kysyttiin enemmän yleisiä tuotannon kehityssuuntaan liittyviä asioita, kun taas tuotantotyöntekijöille kysymykset liittyivät enemmän käytännön tekemiseen. Tämänkin takia oli välttämättömyyksiä haastatella melko laajalla otoksella henkilöitä, jotka työskentelevät tuotannon parissa. Toimihenkilöitä haastateltavista oli 6 kpl, joista 5 oli aiemmin työskennellyt tuotannon operaattoreina. Loput haastateltavat työskentelevät operatiivisissa tehtävissä.

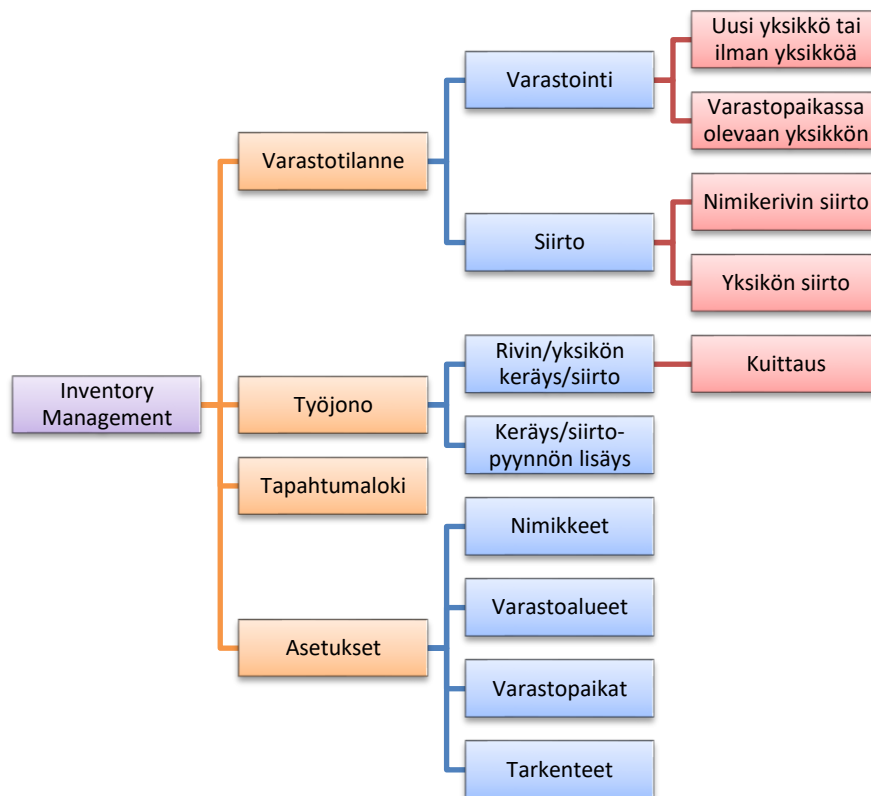
Haastattelut suoritettiin pääasiassa kahdenkeskisinä keskusteluina kohdeyrityksen neuvotteluhuoneissa. Äänieristetyt, kahden hengen neuvottelutilat osoittautuivat haastatteluihin erittäin hyviksi tiloiksi, koska silloin avokonttorin muu hälinä jäi kokonaan pois, mikä helpotti keskustelua ja paransi äänitteen laatua. Haastattelut nauhoitettiin käyttäen konferenssikaiutinta ja kannettavaa tietokonetta. Haastattelun alkupuolella haastateltavalle kerrottiin, miten haastattelujen tietoja ja nauhoituksia käytetään. Haastattelija pyrki pitämään ilmapiirin haastattelun aikana mahdollisimman rentona, ja tilaisuuden enemmän tavanomaisena rupatteluna kuin kysymyslistaa tarkasti seuraavana kysymys-vastaus-haastatteluna. Haastattelujen alussa kyseltiin kysymyksiä henkilön taustaan ja asemaan liittyen, sekä joitakin lämmittelykysymyksiä. Joissakin haastatteluissa kysyttiin myös näkemystä yrityksen nykytilanteesta ja menestystekijöistä.

Haastatteluja ei kokonaan litteroitu, vaan tutkija teki haastatteluiden aikana ja haastattelun jälkeen nauhoitteista muistiinpanoja kooten keskeiset tutkimusongelmaan liittyvät esiin nousseet asiat ylös. Tarkan litteroinnin tekeminen olisi vienyt valtavasti aikaa, eikä se olisi kuitenkaan muistiinpanoihin verrattuna tuonut lisäarvoa. Kun haastattelun aikana unohtui jotain oleellista kysyä, tai myöhemmin mieleen nousi tarkentavaa kysyttävää, niihin palattiin myöhemmin epävirallisesti esimerkiksi kahvipöytäkeskusteluissa. Haastattelukysymyksiä mietittäessä tutkimuksen alkupuolella havaittiin, että oli hankala etukäteen prosessia heikosti tuntien tietää, mitä haluaa haastateltavilta kysyä. Painetta lisäsi tieto siitä, että joidenkin haastateltavien työtehtävät vaativat jatkuvaa läsnäoloa, eikä puolen tunnin irtautuminen haastatteluun ollut mahdollista. Joidenkin kohdalla työpäivää jatkettiin vuoron jälkeen ylitöinä haastattelun ajan.

Osa haastatteluista tehtiin myös ilman kysymyslistaa poiketen normaalista haastattelukäytännöistä. Näitä tehtiin, jos oli oleellista näyttää, miten jokin asia on tuotannossa fyysisesti hoidettu. Tällaisia haastattelukertoja tuli yhteensä kolme, joilla selvitettiin sekä nykytilan ongelmia että ratkaisuehdotuksiin liittyviä kysymyksiä. Tutkija vietti myös puoli päivää seuraten tuotannonsuunnittelijan työskentelyä, osallistumatta kuitenkaan työntekoon. Tietoja kertyi myös jatkuvasti esimerkiksi jokapäiväisissä aamupalavereissa, viikopalavereissa eri osastojen sekä esimiehen kanssa. Haastattelukertoja kertyi kaiken kaikkiaan 14 kpl. Haastattelut suoritettiin 28.2. ja 3.6. välisenä aikana. Liitteessä F on esitetty haastatteluajataulu, jossa kerrotaan milloin ja missä haastattelu pidettiin, kuinka kauan haastattelu kesti ja mitä käsiteltiin. Haastatteluiden nauhoitteet tuhottiin haastattelujen analysoinnin jälkeen. Havainnointia oli sekä ulkopuolista että osallistuvaa. Päiväkirja havaintojen kertymisestä on esitetty liitteessä G.

4. TUTKITTAVA OHJELMISTO

WMS-järjestelmäehdokkaana kohdeyrityksessä tutkittavana on Leanwaren Oy:n Inventory Management. Leanwaren kanssa on tehty kanssa jo pidempään yhteistyötä, jolloin saman ohjelmatoimittajan tuottama ohjelma olisi luontevaa ottaa käyttöön. Myös rajapintojen toteuttaminen varsinkin MES:n ja WMS:n välille olisi suoraviivaisempaa, kun molemmat ohjelmistot olisivat saman toimittajan tarjoamia. Inventory Management on melko uusi, eikä sitä ole vielä juurikaan tuotantokäytössä muissa yrityksissä. Ohjelman testiversio on ollut yrityksessä koekäytössä, jolloin sitä on hyvin pystytty testaamaan. Seuraavana kuvassa 8 on esitetty järjestelmän ominaisuudet siten, kuin ne on järjestelmän dokumentaatiossa määritelty. Kaikkia toiminnallisuuksia ei vielä testiversiossa ole käytettävissä, eikä niitä siten ole päästy testaamaan ollenkaan.



Kuva 8: Järjestelmän toiminnallisuudet, mukailen lähdettä [47].

Inventory Managementissa varastotilanteen listauksessa tavaroista listataan seuraavat tiedot: nimike, varastoalue, varastopaikka, yksikkö, viite, luontipäivä ja -aika. Näistä neljään ensimmäiseen on tulossa viivakoodinluenta, jota ei vielä testiversiossa 1.0 ole. Perusnäkymässä on listattu varastotilanne. Inventory Managementissa varastoitavista tuot-

teista listataan perusnäkömään tuotteen nimike, määrä, sijainti, yksikkö, viite ja aikaleima. Näiden perusteella tietoja voi hakea, lukuun ottamatta aikaleimausta. Jokaisen tietokentän saa myös järjestettyä haluamaansa järjestykseen. Ohjelman toinen osio on tapahtumaloki. Jokaisesta muutoksesta jää ohjemaan tieto, mitä nimikettä muutos koskee, paljonko saldo muuttuu, mikä on tapahtuman tyyppi, lähde- ja kohdesijainti, selite, tarkenteet ja aikaleima. Tarkenteella pyritään tarkentamaan saldomuutoksen tyyppiä. Kolmas osio on asetukset. Sieltä hallitaan ohjelmassa käsiteltäviä tuotteiden nimikkeitä, varastoalueita ja -paikkoja ja tarkenteita. Ohjelman neljäs osio - eli työjonot - ei vielä testiversiossa ole käytettävissä. [47]

Tuotannon koneiden PLC:llä on valmistukseen tarvittavat tiedot, myös tieto tarvittavista materiaaleista. Käytettävien materiaalien tunnistetietoja ei kokoonpanossa kuitenkaan syötetä PLC:lle, vaan komponenttierän tunnistetieto luetaan mobiiliviivakoodinlukijalla suoraan MES:iin. Kokoonpanokoneiden PLC:ltä materiaalitiedot siirtyvät MES:iin. Jatkossakaan PLC:lle ei ole tarvetta syöttää materiaalitietoja, joten tietojen käsittely ISA-95 mukaisen jaottelun tasolla 3 riittää eikä ole tarvetta muuttaa koneiden PLC-ohjelmia. Syötteiden kirjoittamisessa tapahtuvia virheitä voidaan vähentää hyödyntämällä keyboard wedge -tekniikkaa. Se tarkoittaa laitetta, joka simuloi näppäimistöltä tulevaa dataa. Data voi olla magneettisia raitoja, viivakoodeja, RFID-tageja tai sirukortteja, joiden sisältämän datan laite muuttaa näppäimistösyötteeksi. Ohjelman kannalta syöte on täysin vastaava, kuin jos se olisi syötetty käsin näppäimistöltä. [48]

4.1 Ohjelmiston tuotantokäyttö

Käyttöliittymiä ei ole erillisiä tuotantoon ja hallintaan, vaan tarpeen vaatiessa tuotantonäkömästä rajataan joitakin toimintoja pois. Tämä on kustannustehokas tapa, jolloin ei tarvitse erikseen hallinnoida kahta eri ohjelmaversiota eikä niiden käyttöoikeuksia. Toimintojen rajausta voidaan tehdä määrittelemällä käyttäjienhallinnoinnissa kaksi erilaista roolia, joista jokaiselle henkilölle valitaan sopiva rooli, joko tuotanto tai hallinta. Kirjautumisvaiheessa syötetään käyttäjätunnus, jonka perusteella haetaan tiedot käyttäjästä ja käyttäjän oikeuksista käyttäjätietokannasta. Jos kirjautuja on tuotantokäyttäjä, rajataan joitakin hallinnollisia toimintoja pois. Yksinkertainen toteutus olisi määritellä ohjelman painikkeet passiivisiksi, jolloin ei ole tarvetta kokonaan erilaiselle käyttöliittymälle. Automaattiseen tunnistukseen soveltuvia tekniikoita on esitelty luvussa 2.2.1. Seuraavaksi esitellään eri toimintamallivaihtoehtoja.

Vaihtoehto 1: Viivakoodit

Kun komponentti on valmis, operaattori lukee valmistuneen erän tiedot (nimike, määrä ja viite) materiaalierän tunnisteesta eli tarrassa olevasta viivakoodista. Seuraavaksi luetaan varastointiyksikön tunniste eli esimerkiksi kasetin viivakoodi. Tämän jälkeen WMS:llä on tiedossa varastointiyksikön tunniste, yksikön sisältämän komponentin tyyppi ja määrä. Varastointia tehtäessä materiaalivastaava lukee varastointiyksikön tunnisteesta ottaessaan materiaalia kuljetukseen. WMS kysyy varastopaikan tunnistetta niin kauan, kunnes se luetaan tai kirjataan manuaalisesti. Mikäli varastoitavia materiaaleja on tarpeen siirrellä paikasta toiseen, toimitaan täysin samalla tavalla. Materiaalivastaava kuljettaa materiaalierän kokoonpanokoneelle ja lukee kokoonpanokoneen tunnisteesta. WMS voi vähentää kyseisen komponentin saldoa joko heti tai vasta sitten, kun materiaali otetaan koneella käyttöön ja luetaan MES:iin. Tällöin tieto käytetystä materiaalista pitäisi siirtyä MES:stä WMS:iin.

Vaihtoehto 2: Manuaalinen RFID

Komponenttierän ollessa valmis, operaattori lukee varastointiyksikön RFID-tagin ja materiaalierän viivakoodin. Myös varastopaikoissa tunnistus on RFID-tageilla. Materiaalivastaavan ottaessa tavarat kuljetukseen, luetaan manuaalisella käsilukijalla yksikön tunniste ja viettäessä tavaraa loppupaikkaan, luetaan siellä manuaalisesti varastopaikan RFID-tagin. Tämä vaatisi kahden erillisen lukijan käyttämistä, sillä materiaalitiedot tulostetaan viivakoodina tuotteen tunnistetarraan.

Vaihtoehto 3: Automaattinen RFID

Vaihtoehtossa 3 trukkeihin sijoitetaan kiinteät RFID-lukijat ja varastointiyksiköihin kiinnitetään RFID-tagit siten, että otettaessa yksikkö trukiin kyytiin, voidaan tagi lukea automaattisesti. Varastopaikkojen tagit luettaisiin erillisellä lukijalla, samoin kuin materiaalierän viivakoodit. Vaihtoehto 3 vaatisi kolmen erilaisen lukijan hankintaa. WMS:n käyttö edellyttää sekä varastopaikkojen että varastoitavien nimikkeiden yksilöimisen. Varastoitavat tavarat on yksilöity erätunnuksen avulla, ja niihin myös komponenttivalmistuksessa tulostetaan tarrat, joista tuotteen yksilöintitiedot ovat saatavilla. Tuotteen eränumero on tarrassa myös viivakoodina, josta se voidaan helposti lukea. Seuraavissa aliluvuissa tutustutaan varastointiyksiköiden ja varastopaikkojen tunnistamiseen.

4.2 Varastointiyksiköiden ja -alueiden tunnistaminen

Varastointiyksiköt on merkitty juoksevalla numeroinnilla, jokainen tyyppi erikseen. Eri kategorioiden yksiköt ovat keskenään rakenteeltaan selvästi erilaisia, jolloin kategorian tunnistaminen onnistuu helposti silmämääräisestikin. Myös eri levyiset varastointiyksiköt on

mahdollista erottaa toisistaan silmämääräisesti. Varastointiyksiköihin numerointi on tehty toistaiseksi vain inventointia helpottamaan eikä niitä operatiivisesti hyödynnetä. Valmiiksi tehtyä juoksevaa numerointia hyödynnetään yksiköiden tunnistamisessa ja nimeämisessä. Varastointiyksiköiden yksilöimiseen tarvitaan kolme tietoa: kategoria, koko ja juokseva numero. Tunniste voidaan laatia kolmen tiedon perusteella, esimerkiksi 1200 mm leveän pukin tunnisteeksi tulisi P1200-001, jossa P tarkoittaa pukkia, 1200 kokoa (leveyttä) ja 001 numeroa. MES:ssä komponenttieriä käsitellään erätunnuksen mukaan, jolloin niitä tulisi käsitellä myös WMS:ssä kyseisellä tunnuksella.

Varastoalueita tai -paikkoja ei ole kohdeyrityksessä nykytilanteessa yksilöllisesti nimetty. Joidenkin komponenttien varastoalueet on maalattu tai teipattu lattiaan. Vuosien kuluessa on muodostunut tavaksi säilyttää tiettyjä komponentteja tietyissä paikoissa. Usein varastoalue on myös merkattu kyltein, joissa kerrotaan mitä alueella varastoidaan. Tiettyille komponentille tarkoitettuja paikkoja voi kuitenkin olla useita ympäri tehdasta useassa eri kerroksessa. Tarkemman informaation saamiseksi ja järjestelmän kirjauksia varten varastoalueet ja -paikat tulee yksilöidä, ja niille laatia tunnisteet. Hyllypaikat nimetään paikkakohtaisesti, koska yhteen hyllypaikkaan mahtuu vain yksi varastointiyksikkö. Sen sijaan lattialle varastoitavien yksiköiden tapauksessa pelkkä alue riittää. Paikkakohtainen nimeäminen olisi työlästä, koska varastointiyksiköitä on useita erikokoisia, ja tunnisteiden sijoittaminen helposti luettavaksi olisi haasteellista. Suurimman hyödyn saa, jos tietää millä alueella kulloinkin etsittävä varastointiyksikkö sijaitsee.

Nimeämisen tulee olla mahdollisimman selkeä ja looginen. Nimeämisessä tulisi hyödyntää operaattoreiden puhekielessä käyttämiä ilmaisuja yksiköistä ja alueista. Tuotannon työntekijät käyttävät alueista tiettyjä nimiä, josta tulee ensimmäinen kirjain. Osa alueista on sen verran laajoja, että pelkkä yksi kirjain ei ole riittävä määräite, vaan sen lisäksi isoimmat alueet jaetaan numeroihin tehtaassa fyysisten tilojen mukaisesti. Näiden lisäksi varastopaikoille laaditaan juokseva numerointi. Esimerkkinä kaapelialueen varastopaikan tunniste on K3, jossa K tarkoittaa kaapelialuetta ja 3 on kaapelialueen jaottelun mukainen tietyn alueen numero. Jos varastoalueella on hylly, numerot määräytyvät hyllypaikan mukaan: hyllyväli, kerros ja paikka. Esimerkiksi K2-123 tarkoittaa kaapelialuetta 2, jossa hyllyn ensimmäistä hyllyväliä, toista kerrosta ja kolmatta hyllypaikkaa.

4.3 Kehitysehdotukset ohjelmistoon

Kohdeyrityksessä jokaisessa komponenttierässä on tunnistetarra, josta ilmenee seuraavat tiedot: komponenttikone, kokoonpanokone, tuotekoodi ja -kuvaus, komponentin kuvaus, lisätieto (usein materiaalilaatu), materiaalierän tunnus, määrä, operaation tunnus,

valmistumisaika ja operaattorin tunnus. Ohjelman testiversiossa materiaaleista tallennetaan seuraavat tiedot: nimike, määrä, sijainti, yksikkö, viite, luontipäivä ja -aika. Jokaisesta komponenttierästä tallennetaan MES:iin tiedot, jotka voidaan erätunnuksen avulla hakea. Taulukossa 4 on vertailtu MES:n ja WMS:n sisältämiä tietoja.

Taulukko 4: Järjestelmien tiedot

Tieto	MES	WMS
Komponenttikone	x	
Kokoonpanokone	x	
Tuotekoodi ja -kuvaus	x	
Komponentin kuvaus (nimike)	x	x
Lisätieto (materiaalilaatu)	x	
Materiaalitilaus	x	
Määrä	x	x
Operaatio ID	x	
Valmistumisaika	x	
Muokkausaika		x
Operaattorin tunnus	x	
Sijainti		x
Yksikkö		x
Viite		x

Taulukosta 4 huomataan, että MES:ssä ei ole tietoa komponenttien sijainnista eikä yksiköstä. WMS:n tiedoista puuttuu komponentti- ja kokoonpanokone, tuotekoodi ja -kuvaus, lisätieto ja materiaalierän tunnus, operaatio-ID, valmistumisaika sekä operaattorin tunnus. WMS:n varastotilanteen listaukseen olisi välttämätöntä tuoda ainakin tuotekoodi ja materiaalierän tunnus. Myös operaation tunnusta hyödynnetään materiaalieriä yksilöitäessä. Esimerkit komponenttien tunnistetarran tiedoista on liitteessä E. Useat käyttäjät joutuvat työssä käyttämään sekä MES- että WMS-ohjelmistoja. Vaikka sekä MES- että

WMS-järjestelmät ovat samalta tarjoajalta, vaihtelevat ohjelmien tietokenttien nimet. Esimerkiksi MES:n materiaalilauksissa yksi tietokenttä on nimeltään ”Materiaali”, kun taas vastaavaa ei WMS:stä löydy. Sen sijaan WMS:ssä käytetään nimitystä ”Nimike”, jota ei sellaisenaan löydy MES:stä. Loppukäyttäjien työn helpottamiseksi ja epäselvyyksien välttämiseksi olisi tärkeää käyttää samoja nimityksiä molemmissa ohjelmissa.

Ohjelmassa ei varastopaikkoihin voi tehdä varastoitavien komponenttien määrityksiä tai rajoituksia. Jokaiselle varastointiyksikkötyypille on omat soveltuvat varastointialueet. Tämä olisi hyvä ottaa huomioon jo ohjelmistossa rajoittamalla mahdollisia varastopaikkoja. Rajaus olisi esimerkiksi nimikekohtaisesti, jolloin määriteltäisiin mitkä ovat soveltuvia varastopaikkoja tietyille varastointiyksiköille. Ohjelmistossa varastopaikat on rajattu siten, että yhdellä varastopaikalla voi olla vain yksi varastointiyksikkö. Kohdeyhteyksessä kaikkia varastopaikkoja ei ole tarkoitus määritellä niin tarkasti, että yhteen paikkaan mahtuisi vain yksi varastointiyksikkö. Osa komponenteista on myös sen verran pieniä fyysiseltä kooltaan, että ne varastoidaan ensin tietynlaiseen varastointiyksikköön, jonka jälkeen varastointiyksiköitä kerätään useampia kuljetusyksikköön. Tällöin ohjelmassa olisi oltava mahdollisuus varastoida yhdelle varastopaikalle useampia yksiköitä sekä mahdollisuus varastoida tiettyyn kuljetusyksikköön useampia varastointiyksiköitä.

Ohjelmassa ei varastointiyksiköille ole minkäänlaista listausta. Tilanteen tarkastelua varten olisi välttämätöntä pystyä myös listaamaan kaikki varastointiyksiköt, joista näkisi suoraan esimerkiksi tyhjillään olevat varastointiyksiköt. Varastopaikkojen hallinnointiin olisi hyvä ottaa viivakoodintulostus mukaan. Varastopaikkojen hallinta säilyisi yhdessä paikassa, jossa tarvittavat muokkaukset voitaisiin tehdä ja samalla tulostaa uudet viivakoodit, mikäli tarvetta olisi. Tietojen hallinnointi kahteen eri ohjelmaan on usein turhaa työtä ja aiheuttaa helposti ristiriitaisuuksia. Ohjelmassa ei ole älykkyyttä eli esimerkiksi varastopaikkojen ehdotusta. Ohjelma voisi varastointitilanteessa ehdottaa käyttäjälle soveltuvaa varastopaikkaa, esimerkiksi yleisimmin käytetty varastopaikka, eniten vapaita paikkoja sisältävä alue tai lähimpänä kohdealuetta oleva paikka. Myös materiaalivastaavien työnohjausta voisi olla enemmän, jolloin operaattori näkisi suoraan tulevat tehtävät esimerkiksi niiden kiireellisyyden perusteella.

Komponentti- tai kokoonpanokoneiden operaattorit voisivat poikkeustilanteessa (esim. materiaalipula) viestittää ohjelman kautta materiaalivastaavalle puutteesta, jolloin se hyppäisi kiireellisyytensä vuoksi työjonon kärkeen. Haastatteluissa ohjelmaan toivottiin mekanisme, joka kertoisi virheellisistä tai vääristä viivakoodien skannauksista. Inhimilliset virheet ovat mahdollisia ja todennäköisiäkin, sekä vahingot että tarkoituksella väärin luetut (esimerkiksi väärä materiaali). Nämä voitaisiin ohjelmassa estää esimerkiksi siten, että kokoonpanokoneelle ei ole mahdollista ottaa kuin tiettyjä materiaaleja tai ainakin

käyttäjältä kysyttäisiin erillinen varmistus. Haastatteluissa ohjelmaan myös toivottiin jonkinlaisia indikaattoreita tuotteiden kiireellisyydestä ja valmistumisasteesta. Hetken kuluttua valmistumassa olevat komponenttierät erottuisivat työjonosta, jolloin materiaalivastavat voisivat ennakoiden vähentää turhaa ajoa ympäri tehdasta.

4.4 Poikkeukset ja ongelmatilanteet

Tässä luvussa esitellään yleisiä vikatilanteita sekä ratkaisuja näihin. Ilie-Zudor et al. jakaa poikkeustilanteet kolmeen luokkaan: luotettavuuteen, turvallisuuteen ja yhteensopivuuteen liittyviin ongelmiin [25]. Tunnisteen luotettavuuteen liittyvät tekijät on jaettu inhimillisiin virheisiin ja teknisiin aspekteihin. Joskus tuotteissa on useita viivakoodoja, jolloin on olemassa erehtymisen mahdollisuus. Ohjelmassa ratkaisuna tähän olisi sallia vain oikeantyyppiset viivakodit. Jos viivakoodit ovat lähellä toisiaan, voi lukija lukea väärän viivakoodin, vaikka käyttäjä oikeaa viivakoodia yrittäisikin lukea. Viivakoodin vaatiessa suoran näköyhteyden lukijan ja tunnisteen välille voi luenta häiriintyä, jos välissä on optisia esteitä. Hyvin yleisesti ongelmien syynä on inhimillinen virhe, jonka mahdollisuutta on pyrittävä pienentämään, esimerkiksi automaation avulla ja asettamalla ohjelmaan rajoitteita. [48]

Yleisiä ongelmatilanteita ovat puuttuvat tiedot ohjelmassa. Varastointiyksikkö, -paikka tai materiaalitieto voi puuttua järjestelmästä. Tällöin operaattorin on otettava yhteyttä ohjelman ylläpitäjiin, ellei operaattorilla ole ylläpito-oikeuksia. Jonkin tiedon puuttuessa ongelma saadaan ratkaistua lisäämällä puuttuva varastointipaikka tai -yksikkö järjestelmään. Viivakoodin tulostuksessa voi ilmaantua häiriöitä, jotka vaikuttavat koodin laatuun. Viivakoodin virheellinen sijoittaminen (esimerkiksi liiallinen tarran taivuttaminen) voi haitata luentaa. Viivakoodin likaantuminen tai kuluminen voi estää luennan. Optisien tunnisteiden luenta vaatii myös soveltuvat valaistusolosuhteet. Vääränlainen valo voi häiritä luennan onnistumista. Kohdeyhteyksessä on muissa yhteyksissä havaittu joskus ongelmatilanteeksi myös tahattomat perättäiset luennat, jossa sama viivakoodi luetaan useamman kerran peräkkäin. Tämä muodostuu ongelmaksi, jos luentaan sisältyy automatiikkaa, ja lukulaitteella ei ole mahdollista luentoja käydä perumassa tai muokkaimassa.

Viivakoodinlukijoiden ollessa älypuhelimien tyyppisiä kannettavia lukijoita, voidaan luentaa toteuttaa keyboard-wedge -syötteenä. Tällöin luettava tietokenttä pitää laiteelta valita, jonka jälkeen laitteen näkökulmasta viivakoodin syöte on vastaava kuin laitteen näppäimistöltä tuotettu. Viivakoodinluennassa valittuun tietokenttään tulee luettu merkkijono, joka pitää luennan jälkeen hyväksyä. Mikäli luenta ei jostain syystä toimi, voi merk-

kijonon syöttää kenttään myös käsin. Käsisyöttöä varten merkkijonon tulisi olla mahdollisimman lyhyt ja sisältää vain helposti laitteen näppäimistöltä saatavilla olevia merkkejä. Merkkijonoon olisi mahdollista lisätä tiedot esimerkiksi valmistusajankohdasta, mutta merkkijonon ollessa pitkä lisääntyy merkittävästi inhimillisen virheen todennäköisyys. Jos merkkijono sisältää erikoismerkkejä, joita ei esimerkiksi älypuhelimien näppäimistöltä ole saatavilla, merkkijonon kirjaaminen käsin on huomattavasti hitaampaa.

Internet-yhteys voi olla hetkellisesti poikki, mikä estää tiedon hakemisen yritystoiminnan tietojärjestelmistä. Langattomia yhteyksiä hyödynnettäessä jokin tehtaalla liikutettava isompi esine saattaa estää signaalin kulun tukiasemalta laitteeseen. Yhteys voi myös olla hidas, mikäli dataa liikkuu suuria määriä samanaikaisesti. Ratkaisuna yhteysongelmiin yleensä toimii yhteyden käynnistäminen uudelleen tai hetken odottelu. Mikäli yhteys katkeilee jatkuvasti, on syytä tarkastella tukiasemien riittävyyttä. Ohjelmistojen ja laitteiden yhteensopivuudessa voi tulla vastaan haasteita. Näihin on mahdotonta etukäteen määrittää ratkaisuja tietämättä tarkemmin ongelman juurisyytä. Ratkaisu tulee laatia tapauskohtaisesti, mikäli haasteita tulee. Ennakoivasti yhteensopivuusongelmia voidaan välttää noudattamalla standardeja ohjelmistojen ja laitteiden välisien rajapintojen suunnittelussa.

4.5 Ohjelmiston käyttöönottoprosessi

Kohdeyrityksen MES-projektin vaiheen 6 osana on WMS-järjestelmän ottaminen käyttöön. Vaiheen 6 aloitus on ajoitettu alkamaan vuoden 2020 ensimmäisessä kvartaalissa. Sitä ennen on tehtävä tarkempi käyttöönottosuunnitelma sekä ohjelmiston vaatimat tekniset määrittelyt, kuten rajapinnat WMS:n ja MES:n välille. Laitehankinnat pilottijaksoa varten on myös tehtävä vuoden 2019 puolella, jotta niihin ehditään tekemään tarvittavat määrittelyt ja ohjelmistot sovitettua laitteisiin sopivaksi. Muutoksen ollessa melko laaja ja käyttäjille iso, on käyttöönotto aloitettava kevyesti, ja siten, että tarvittaessa pystytään tekemään vielä nopeita muutoksia, mikäli isoja haasteita esiintyy. Vaiheen 6 alussa on hyvä olla vähintään 2 kuukauden mittainen pilotti, jonka tarkoituksena on kerätä tietoa ohjelman toiminnasta ja käyttäjäkokemuksia. Jakson tulisi olla riittävän pitkä, jotta kaikki ongelmat tulisivat esille, ja jotta jokainen operaattori pääsisi uutta toimintatapaa kokeilemaan vähintään kerran.

Tuotanto toimii viidessä vuorossa ja operaattoreilla työpisteet vaihtelevat päivittäin. Pilotin ajan uutta toimintamallia sovelletaan vain esimerkiksi yhdellä komponenttilinjalla ja tietyllä tuotetyypillä. Parhaiten pilottiin soveltuisi tutkimuksen perusteella kategorian 2 komponentti (katso liite C), jota käytetään vain tuotetyypin 1 kokoonpanokoneilla. Tuotetyypin 1 koneilla on materiaalien luentaa tehty MES:iin jo 2018 toisesta kvartaalista

lähtien eli muutos on siltä osin pienempi. Komponentti kategoriasta 2 on helpoin aloittaa, koska juuri kyseistä komponenttia ei käytetä kuin toiseen tuotetyyppiin, ja komponentin varastointipaikat ovat selkeimmät. Jos pilotin aikana ei laitteissa esiinny isoja haasteita, hankitaan samanlaiset laitteet koko tuotantoon vuoden 2020 ensimmäisen kvartaalin aikana. Samanlaisia laitteita käytettäessä nopeutetaan käyttöönottoprosessia, kun asetukset voidaan määrittää samanlaisiksi kuin muissa vastaavissa laitteissa. Samalla helpotetaan henkilöstön työntekoa ja minimoidaan ylläpitämiseen vaadittavat panokset.

Pilotin jälkeen käyttöönottoa jatketaan asteittain komponenttityyppi kerrallaan. Jokaisella komponenttikoneella on omat operaattorinsa, jotka on koulutettava uuteen toimintamalliin. Kaikille komponenttivalmistuksen operaattoreille voitaisiin järjestää yleinen koulutus, mutta parempi vaihtoehto on pitää koulutustilaisuus vain pienelle ryhmälle operaattoreita kerrallaan. Näin saadaan operaattoreille parempi mahdollisuus tutustua tulevaan toimintamalliin pienryhmissä, eikä koulutuksen ja käyttöönoton väli kasva liian pitkäksi, jolloin ehtisi koulutuksessa käytyt asiat jo unohtamaan. 2020 toisen kvartaalin loppuun mennessä pyritään saamaan WMS koko laajuudella tuotantokäyttöön. Näin tuotantokäyttöä ehtisi olla riittävän pitkä aika, että toimintatavoista tulisi rutiini. Jos projektin aikana näyttää siltä, että aloitusta ei ehditä tekemään vähintään kuukautta ennen kesätaukoa, on aloitus syytä tehdä vasta sen jälkeen.

WMS:iä varten kohdeyritykseen tarvitsee hankkia lukija- ja päätelaitteet sekä tarvittavat lisenssit ohjelmiston käyttöä varten. Tarkempi selvitystyö, hankintapäätökset ja hankinnat tehdään diplomityön jälkeen. Tarve trukkeihin sijoitettaville päätelaitteille selvitetään ja hankintaprosessi käynnistetään. Ohjelmistoon teetetään halutut muutokset ja sen lisenssi hankitaan. Investointien tarkat hinta-arviot voidaan määrittää vasta, kun ohjelmistoon teetetävistä muutoksista on tehty päätökset ja tunnistusteknologia valittu. Seuraavana olevassa taulukossa 5 on kuitenkin esitetty hyvin karkeita arviota investoinneille. Hinnat perustuvat kohdeyrityksessä tehtyihin muihin vastaaviin projektiin, mutta kokonaisbudjetin muodostuminen selvinnee myöhemmissä vaiheissa tarkemmin.

Taulukko 5: Karkeat hinta-arviot

Hankinta	Hinta-arvio (€)
Ohjelmiston muutokset + lisenssi	40 000
Lukijalaitteet	10 000
Päätelaitteet trukkeihin	20 000
Viivakooditarvikkeet	1 000

Kokonaisuudessaan projektin budjetti tämän hetken tietämyksen perusteella on maksimissaan 100 000 €. Summasta suurin osa muodostunee ohjelmiston muutostöistä ja lisenssistä. Ohjelman muutostöiden suuruutta ja vaikeutta on mahdoton arvioida tunte-matta tarkasti ohjelman teknisiä ratkaisuja. Siksi halutut muutokset on päätettävä ensin ja sen jälkeen neuvoteltava hinnasta ohjelman tarjoajan kanssa. Toisen merkittävän osan budjetista muodostaa laitteiden hankinnat. Hankittavien laitteiden on kestettävä tuotantoympäristöä eli pölyä, likaa, tärähtelyjä, jatkuvaa käyttöä ja lämpötilan muutoksia. Nämä vaatimukset nostavat laitteiden hintoja. Kohdeyrityksen liikevaihdon ollessa noin 180 miljoonaa euroa, olisi 100 000 €:n investointi alle prosentti liikevaihdosta. Parantu-neella tuotantokapasiteetilla investoinnin takaisinmaksu olisi mahdollista hoitaa muuta-mien vuosien aikana.

5. TUTKIMUSTULOKSET

Tutkimuskysymykseen 1 lähdettiin etsimään vastauksia haastatteluilla, havainnoinnilla ja data-analyyseillä. Merkittävimmät tutkimustulokset saatiin haastatteluilla, joita tuettiin tuotannosta saaduilla havainnoilla ja tietojärjestelmien data-analyyseillä. Näillä tutkimustekniikoilla muodostettiin kokonaiskuva kohdeyrityksen nykytilanteesta ja tuotteiden valmistusprosesseista. Haastattelut olivat puolistrukturoituja teemahaastatteluja, joissa haastateltavalle esitettiin kysymyksiä tietyistä teemasta. Osa haastatteluista tapahtui työn ohessa, mutta silloinkin haastattelijalla oli mietittynä kysymyksiä valmiiksi ja tutkitavana tietty teema. Haastattelupäiväkirja on liitteenä F. Havainnointia oli sekä osallistuvaa että ulkopuolista, kaikki havainnointitapahtumat ja havainnot on esitetty havainnointipäiväkirjassa liitteenä G.

Tutkimuksessa havaittiin, että komponenttien valmistumisen ja kokoonpanon välisessä tehtaan sisäisessä logistiikassa suuri haaste on ajantasaisen tiedon puute. Osa tiedosta on palasina paperilappujen nurkissa sekä avainhenkilöiden päässä, mutta ei helposti kaikkien saatavilla. Tavaroiden sijainnista ei nykytilanteessa ole tietoa missään muualla kuin materiaalivastaavien muistissa. Toiminnan periaatteita ovat ”näin on aina ennenkin tehty” tai ”täällä sen kuuluisi olla”. Välillä kaikki ei mene totutulla tavalla ja tavaroita on hukassa. Etsimiseen käytetään valtavasti resursseja ja aina haluttuun lopputulokseen eli etsityn tavaran löytymiseen ei päästä. Silloin on jäljellä vain huonoja vaihtoehtoja, joista joudutaan valitsemaan vähiten huono. Usein tuotantoon aiheutuu viivästyksiä. Epätietoisuus tavaramääristä myös vääristää varastosaldoja, jotka ovat kriittisiä jo varastokirjanpidonkin kannalta.

Kohdeyrityksessä käytettävät komponentit ovat luonteeltaan sellaisia, että niitä ei aina pystytä kokonaisuudessaan kokoonpanosarjan aikana käyttämään ja toisaalta joskus tilattu komponenttimäärä ei riitä. Ylijääneet komponentit varastoidaan mahdollista myöhempää käyttöä varten, ja niiden määrät arvioidaan silmämääräisesti viikoittaisissa inventoinneissa. Inventoinnin tekee tuotannonohjaaja, joka pyrkii tarvittaessa seuraavaa kyseistä komponenttiterää tilattaessa huomioimaan ylijääneet komponentit. Inventointien tarkkuutta ei WMS:llä pystytä parantamaan, koska kokoonpanokoneilla ei mitata komponenttien kulutusta. Jatkossakin määrät arvioidaan manuaalisesti, mutta digitaalinen alusta mahdollistaa tiedon nopeamman ja helpomman jakamisen kaikkien sidosryhmien saataville.

Tarve WMS:lle kohdeyrityksen komponenttien varastoinnin hallinnassa on tutkimuksen perusteella ilmeinen. Ehdokkaana järjestelmäksi käytettävissä oli Leanwaren Inventory Managementin testiversio. Diplomityön toiseen tutkimuskysymykseen vastauksia haettiin perehtymällä ohjelmiston materiaaleihin, haastattelemalla ohjelmiston toimittajan edustajia sekä tutustumalla itsenäisesti ohjelmiston toimintaan. Ohjelman testiversio ei sellaisenaan sovellu kohdeyrityksen tarpeisiin siinä olevien puutteiden vuoksi. Ohjelmisto määrittää varastopaikan olevan sellainen, johon voi varastoida vain yhden varastointiyksikön. Osa kohdeyrityksessä varastoitavista komponenteista on rakenteeltaan sellaisia, että niitä voi yhteen varastopaikkaan varastoida useita tai toisin sanottuna jokaiselle määritelty oma varastopaikka ei tuo lisäarvoa. Osa varastoalueista on sen verran pieniä, että niiden jakaminen erikseen varastopaikkoihin ei tuo juurikaan lisää hyötyä.

Varastoalueisiin ja -paikkoihin olisi hyvä olla mahdollisuus tehdä rajoitteita ohjelmistossa. Varastoyksiköiden fyysisen rakenteen vuoksi kaikki varastoyksiköt eivät sovellu kaikkiin varastointipaikkoihin, jolloin nämä rajoitteet voisi ottaa ohjelmistossa huomioon. Myös materiaalivastaavien toimintaa voisi ohjata tekemällä rajoituksia. Esimerkiksi haluttaessa pitää tietty alue vapaana varastointiyksiköistä, voitaisiin se rajata mahdollisista vaihtoehtoista pois. Ohjelman testiversiossa rajoitteita ei ole mahdollista tehdä. Ohjelmaan ei ole sisäänrakennettu älykkyyttä. Varastopaikkoja haettaessa ohjelma voisi ehdottaa varastopaikkaa, joka on yleisimmin käytetty, jossa on eniten tyhjää tai joka on lähimpänä kohdealuetta. Ohjelman testiversiossa ei myöskään ole työjonoja, joiden avulla materiaalivastaavien työntekoa voisi ohjata. Tämä on ohjelmantoinittajan mukaan tulossa ohjelmaan myöhemmin, mutta toiminnallisuutta ei diplomityön tutkimusosuuden aikana päästy kokeilemaan.

Komponenttien tunnistustavoista kohdeyrityksen tarpeisiin sopiva olisi viivakoodi, koska komponenteissa on jo tunnistetarroissa yksilöivät viivakoodit, jotka tulostetaan komponenttien valmistuessa. Komponenttien tunnistuksessa toimintatapa ei siis muuttuisi nykyisestä. Varastointiyksiköiden tunnistukseen soveltuisi hyvin myös RFID, mutta materiaalivastaavien työtä helpottaa, jos kaikki luennat voi tehdä samalla tekniikalla. Tutkimuksissa ei havaittu tarvetta RFID:n suuremmalle datamäärälle verrattuna viivakoodiin, joten viivakoodin sisältämä datamäärä riittää. Viivakooditeknologia on myös tuotannon operaattoreille tuttu, mikä helpottaa käyttöönottoa. Merkittävimmät hyödyt uudella järjestelmällä ja uudella toimintatavalla ovat ajantasaisen tiedon saatavuus ja sen myötä vähemmän etsimisen tai materiaalipuutteiden aiheuttamaa tuhlettua aikaa. Arvoa tuottava aika lisääntyy ja tuottavuus paranee. Nämä auttavat kohdeyritystä saavuttamaan kunnianhimoisen tavoitteen tuotantomäärien kasvattamisesta.

RFID-teknologia vaatisi kahden rinnakkaisen teknologian käyttämisen. Komponenttiko-neilla tulostetaan edelleen viivakoodit, jonka lisäksi pitäisi RFID-tagit lukea. Kohdeyrityk-sessä ei ole RFID-teknologiaa hyödynnetty, jolloin kokemuksesta tietoa laitteiden käy-töstä ei ole saatavilla. Kahden eri teknologian käyttäminen vaatii kaksi erilaista lukijaa ja järjestelmään kaksi erilaista rajapintaa. Aiempien tutkimusten perusteella keskimäärin tuotteen läpimenoajasta arvoa tuottavaa on 2,5 % (katso luku 3.1). Tuloksen ollessa keskiarvo, siinä on mukana myös materiaali- ja puutteista johtuvat odottelut. WMS:n käyt-töönnoton jälkeen pyritään kokonaisläpimenoaikaan lyhentämään arvoa tuottamatonta ai-kaa vähentämällä. Tällöin arvoa tuottavan ajan suhteellinen osuus nousee 2,5 %:sta ylöspäin. Seuraavana olevaan taulukkoon 6 on koottu tiivistetysti tutkimuksen keskeiset tulokset.

Taulukko 6: Yhteenveto tutkimuksesta

Haastattelututkimus, otos	14 henkilöä
Havainnointitutkimus, otos	15 havainnointikertaa
Suurin haaste	Ajantasaisen tiedon puute
Ratkaisuehdotus	Varastointiyksiköt ja -paikat yksilöidään
Tunnistustekniikka	Viivakoodi, kannettavat lukijat
Vaatimukset	Ohjelmiston loppumäärittely ja hankinta, laite-hankinnat, operaattoreiden koulutukset, va-rastointiyksiköiden yksilöinti, varastopaikkojen yksilöinti
Aikataulu, tekninen määrittely	Loppuvuosi 2019
Aikataulu, laitehankinnat	Loppuvuosi 2019
Aikataulu, koulutukset	1. ryhmä 2019 neljäs kvartaali
Aikataulu, pilottijakso	2020 ensimmäinen kvartaali
Aikataulu, käyttöönotto	2020 toinen tai kolmas kvartaali

Taulukossa 6 olevat aikataulut ovat karkeita arviota. Kohdeyrityksessä WMS:n käyttöö-notto kuuluu MES-projektiin. Uusien digitaalisten ratkaisujen käyttöönotossa saattaa tulla odottamattomia haasteita, joihin on mahdotonta varautua etukäteen. Tästä johtuen suunnitellut aikataulut voivat muuttua. Myös pienillä resursseilla toteutettuna yhden krite-rin toimijan puuttuminen saattaa viivästyttää vaiheita merkittävästi. Siksi taulukkoon on koottu alustavat aikataulut, mutta MES-projektia tulee tarkastella kokonaisuutena. Vaihe 5 tulee siis suorittaa loppuun ennen vaihetta 6. WMS-projektin sisäisen aikataulun tarkempi määrittely onnistuu, kun on päätetty ohjelmistoon haluttujen muutosten laajuus ja keskusteltu niistä ohjelmiston toimittajan kanssa. Myös laitehankintoihin on syytä va-rata riittävästi aikaa.

6. JOHTOPÄÄTÖKSET

Tutkimustyössä tuloksia saatiin erilaisilla menetelmillä, joiden luotettavuutta ja laatua analysoidaan tässä luvussa. Lisäksi tarkastellaan diplomityölle asetettuja tavoitteita ja niiden saavuttamista. Kohdeyrityksessä tutkimusta tehdessä löytyi lukuisia kehitysideoita, sekä tutkijalta että tutkimukseen osallistuvien henkilöiltä. Leanin mukaisesti koskaan ei ole valmista, ja aina pitää miettiä jo seuraavia kehityskohteita. Kehityskohteita esitellään tämän luvun aliluvussa 6.2. Tutkimustyön edistyessä aiheen ja tutkimustekniikoiden rajausta tarkennettiin. Esimerkiksi tuotantoympäristön videoinnilla olisi saatu hyvin selville tuotantorutiinit ja ongelmatilanteita, mutta videointi katsottiin liian aikaa vieväksi ja toisaalta myös eettisesti kyseenalaiseksi. Myöskään komponenttien seuranta ei sen tarkemmin järjestetty, vaan tyydyttiin tietoihin, joita oli nykyisellään saatavilla sähköisistä tietojärjestelmistä. Tämä kompensoitiin viettämällä enemmän aikaa tuotantoympäristössä havainnoimalla operaattoreiden työntekoa, jolloin otoksesta saatiin riittävä.

Tutkimusaiheesta rajattiin isoja kokonaisuuksia pois, kuten laitteiden vertailut, ohjelmistojen vertailut ja tarkkojen materiaaliapuuteaikojen selvittäminen. Jokainen näistä aiheista olisi ollut oma iso tutkimusongelmansa, joiden tutkimiseen ei tässä diplomityössä olisi ollut mahdollisuuksia. Silti aihe on edelleen laaja ja tutkimuksessa saatiin siihen vain kevyt yleiskatsaus. Komponenttien tarkempaan seuraamiseen ei ollut resursseja tämän tutkimuksen puitteissa. Tarkemmalla seuraamisella ja datan keräämisellä olisi saatu analysoitua tarkemmin materiaaliapuutteista johtuvat hukat. Nyt materiaaliapuutteissa on mukana kaikki mahdolliset vaikuttavat tekijät, ja pelkästään hakemisesta johtuvia puutteita ei pystytä erittelemään. Tämän ei katsottu vaikuttavan ratkaisevasti tutkimuksen tuloksiin, koska lähes jokaisessa haastattelussa isoksi ongelmaksi mainittiin tietämättömyys materiaalien sijainneista. Tarkempia tietoja olisi voitu hyödyntää lähinnä takaisinmaksusuunnitelmia laskettaessa.

Kokonaisuutena WMS-projekti etenee päivitetystä aikataulussaan. Stage-Gate -mallin (katso luku 2.4) mukaiset vaiheet 1-3 on tehty, ja seuraavana vaiheena on tehdä kehityspäätös. Alustava kehityspäätös toki on jo tehty, koska tätäkin diplomityötä on lähdetty tekemään. Mikäli varsinainen kehityspäätös on myönteinen ja idean kehitystyötä päätetään jatkaa, on seuraavana vaiheena kehittää ideasta toimiva ratkaisu. Tuotteen kehitykselle on annettu aikaa vuoden loppuun asti. Mikäli kehityksen jälkeen päädytään tuotearviointiin lopputulokseen, että tuote on testauskelpoinen, voidaan aloittaa pilottijakso tuotannossa. Viimeisenä päätöksentekokohtana on loppuarviointi, joka suoritetaan

testausjakson loppupuolella. Tämän jälkeen tuote voidaan lanseerata eli ottaa laajamittaisesti käyttöön kohdeyrityksen tuotannossa.

6.1 Tutkimuksen loppupäätelmät

Tutkimuksessa lähdettiin liikkeelle nykytilan selvittämisestä, joka oli ensimmäinen tutkimuskysymys. Tutkimusmenetelmistä tähän käytettiin pääasiassa puolistrukturoituja teemahaastatteluja, joita järjestettiin 14 kpl. Niissä keskityttiin yhteen tai useampaan teemaan, kuitenkin fokus oli komponenttien välivarastoinnissa ja sen haasteissa. Haastatteluita analysoimalla saatiin kartoitettua pahimmat nykytilan ongelmat, joita esitellään alla tarkemmin. Haastatteluihin kutsuttiin lähes kaikki yrityksen toimihenkilöt, jotka tuotannon komponenttivalmistuksen ja kokoonpanon piirissä työskentelevät päivittäin. Otosta voidaan tältä osin pitää riittävänä, sekä tuloksia luotettavina. Haastatteluissa haastateltavat esittivät kukin oman näkemyksensä nykytilan haasteisiin. Kolme suurinta haastetta esiintyi useissa haastatteluissa, ja havainnoimalla hypoteesia pystyttiin tukemaan.

Haastatteluita pyrittiin järjestämään myös tuotannon nykyisille ja entisille työntekijöille, varsinkin materiaalivastaaville. Tuotantotyöntekijöiden saaminen haastatteluun oli kuitenkin vaivalloista, sillä kolmivuorotyötä tekevien kanssa sopivan ajan löytäminen ei aina ollut helppoa. Tuotannon henkilöstöllä ei myöskään ole päivittäisessä käytössä sähköpostia tai sähköisiä kalentereita, joten niiden hyödyntäminen tapaamisaikojen sopimisessa ei ollut mahdollista. Heiltä tulevat kehitysideat olisi ollut hyvä huomioda jo tässä vaiheessa, mutta toisaalta valtaosa haastatteluista toimihenkilöistäkin on ollut pitkään tuotannon operaattoreina, ja osa vasta lyhyen aikaa toimistotehtävissä. Osa haastatteluista toimihenkilöistä tekee myös tiivistä yhteistyötä tuotantohenkilöstön kanssa, joten joitakin ideoita saatiin kuitenkin.

Havainnointia voidaan pitää tutkimusmenetelmänä silloin, kun se on systemaattista ja toistettavaa. Tutkimuksen aikana tehtiin jatkuvasti havaintoja, joista oleelliset havainnot pyrittiin kirjaamaan mahdollisimman nopeasti muistiin. Havainnointi ei yksistään ole riittävä tutkimusmetodi, mutta yhdessä muiden kanssa se voi tukea tai rapauttaa aiemman tiedonkeruun perusteella muodostunutta hypoteesia. Tässä tutkimuksessa havainnoimalla kerättiin tietoja operaattoreiden toiminnasta, tuotteiden valmistamisesta ja materiaalivirrasta tuotannossa. Haastatteluissa esiin tulleita ongelmia myös pyrittiin havainnoimaan tuotantotiloissa. Tiivistetty havainnointipäiväkirja on esitetty liitteessä G. Siinä esitetään päivämäärä, aika, tuotannon paikka, missä havainto on kirjattu sekä avainasiat havainnosta.

Nykytilaa selvittäessä mainittavia tutkimusmenetelmiä olivat myös kirjallisuuskatsaus ja data-analyysi. Alan kirjallisuuteen, asetuksiin, standardeihin ja lakeihin perehtymällä saatiin varmistus joillekin nykytilaselvityksessä esille nousseisiin kysymyksiin, lähinnä perusteluja joillekin toimintatavoille. Kohdeyrityksessä kaikki toiminta on vastuullista ja kestävä, mistä johtuen myös tässä työssä piti ottaa tietyt säädökset huomioon. Kaikkia tietolähteitä ei ole lähdeluettelossa mainittu kohdeyrityksen toivoessa työlle anonymiteettiä. Data-analyysiä hyödynnettiin tuotantoprosessiin perehdyttäessä. Tuotannon tietojärjestelmistä varsinkin MES sisältää paljon oleellista tietoa tuotantoprosessista, ja myös materiaalitietoja löytyy sieltä. MES ja APS yhdessä pitävät sisällään reaaliaikaisen tiedon sekä hetkellisestä tuotantotilanteesta että tulevasta. Myös tuotannon toteumat päivittyvät automaattisesti APS:iin, josta niitä voi kuka tahansa käyttäjä tarkastella. APS:n tai MES:n tiedoista ei kuitenkaan ilmene esimerkiksi materiaalipuutteiden juurisyitä.

Tutkimusten perusteella nykytilanne yrityksessä ei ole edes tyydyttävällä tasolla. Kaikissa haastatteluista kolmen suurimman haasteen joukossa oli komponenttien välivarastoinnin toimimattomuus. Tähän juurisyynä on se, että varastossa olevista tavaroista ei pidetä päivittäistä kirjanpitoa. Tutkimuksessa esille tulleita syitä varastokirjanpidon puuttumiselle ovat varastopaikkojen merkkeämättömyys, sopivan kirjanpitojärjestelmän puuttuminen ja aikojen kuluessa muodostunut toimintakulttuuri, johon ei kirjaaminen kuulu. Hukassa olevien tavaroiden aiheuttamia viivästyksiä ei nykytilanteessa kirjata mihinkään dokumentteihin. Materiaalivastaavat raportoivat ongelmista vuorotyönjohtajille tai tuotannonohjaajille, jotka pyrkivät ratkaisemaan ongelman sillä hetkellä parhaalla mahdollisella tavalla. Tarkempia dokumentaatiota ei tehdä, ja asia usein unohtuu hektisessä tuotantoympäristössä. Useat haastateltavat määrittivät tavaroita olevan hukassa harvemmin kuin päivittäin, mutta kuitenkin lähes viikoittain.

Keskimäärin komponenttivalmistuksesta johtuvia materiaalipulia oli vuoden 2019 viikoilla 1-23 viikkotasolla 3600 minuutta, johon lasketaan mukaan kaikki materiaalipuutteiden aiheuttamat viivästyksset, kuten vääränlaatuiset materiaalit. Oletetaan, että materiaali-puutteet vähenevät WMS:n käyttöönoton myötä ja kokonaisuudessaan arvoa tuottamaton aika vähenee 10 %, tarkoittaisi se arvoa tuottavan ajan osuuden nousua 2,5 %:sta 2,8 %:iin, ja läpäisyajan lyhentymistä 9,7 %. Edelleen arvoa tuottavan ajan osuus olisi pieni, mutta kehitys olisi oikeansuuntaista. WMS:llä ei kaikkia materiaalipuutteista johtuvia hukkia pystytä poistamaan. Metreittäin laskettavissa komponenteissa on satunnaisesti laatuongelmia, jolloin komponenttia joudutaan katkaisemaan. Komponentteja tilatessaan tuotannonohjaaja pääsääntöisesti tilaa jonkin verran ylimääräistä juuri poikkeus-

tilanteita varten. Jos kuitenkin laatuviasta on enemmän kuin ylimääräinen osuus, komponenttia ei riitä koko sarjalle. WMS voi tässä tilanteessa auttaa, jos soveltuvaa komponenttia löytyy ylijääneenä varastoista.

Tämän tutkimuksen tuoma lisäarvo kohdeyritykselle on sellaisenaan hankalasti mitattava suure. Jotkut yrityksen edustajat määrittivät puutteet komponenttitiedoissa koko tehtaan tämän hetken suurimmaksi ongelmaksi ja esteeksi tuottavuuden kasvulle. Kyseisiä haasteita voi ratkaista kohtalaisen pienillä investoinneilla, jolloin investointien takaisinmaksuaika on mahdollisimman lyhyt. Tutkimuksen tulokset toimivat pohjustuksena ohjelmiston käyttöönottoa ajatellen, ja ilman tätä tutkimusta käyttöönottoprosessista olisi tullut huomattavasti pidempi. Luvussa 4.5 esitelty karkea käyttöönottosuunnitelma, joka toimii pohjana tarkemmalle käyttöönottosuunnitelman määrittelylle. Takaisinmaksu diplomityölle tulee myöhemmin, kun WMS-järjestelmä saadaan käyttöön ja tuottavuutta saadaan sillä parannettua.

6.2 Jatkokehitystarpeita

Kehitysideoita sekä WMS:iin liittyen että koko tehtaan osalta on koko tutkimuksen ajan tullut esiin haastatteluissa, tehtaalla liikkeessä ja kahvipöytäkeskusteluissa. Tutkittavaan ohjelmistoon liittyvät kehitysideat on esitelty omassa aliluvussaan 4.3. Tässä luvussa esitellään merkittävimmät kehitysehdotukset, jotka eivät kuulu tämän diplomityön aihealueeseen. Tässä luvussa esitettyjä jatkokehitysideoita ei ole arvioitu esimerkiksi toteutuskelpoisuuden tai minkäänlaisten rajoitteiden suhteen. Jotkut ideoista vaatisivat isoja muutoksia ja laajaa selvitystä, mutta toisaalta kohdeyritys ei pysy kehityksessä mukana ilman isoja muutoksia kohti digitaalisempaa tuotantoa.

6.2.1 Automaatioasteen nosto

Nykytilanteessa tehtaan automaatioaste on melko matala. Komponenttivalmistuksen säilogistiikka hoidetaan täysin manuaalisesti, tällä hetkellä jopa ilman mitään tietojärjestelmiä. Automaattisia kuljetusratkaisujen laajentamista myös komponenttivalmistuksen piiriin olisi syytä selvittää, koska automaattisilla kuljetinjärjestelmillä virheiden määrä vähenisi ja läpimenoaika lyhenisi. Pitkällä aikavälillä automaattiset kuljetusjärjestelmät ovat halvempia ja kuin materiaalivastaavat. Myös inhimillisten virheiden määrä on pienempi. Automaattisten kuljettimien hankintakustannukset olisivat isot, koska se vaatisi nykyisten tilojen muokkaamista ja pirstaloituneiden varastojen yhtenäistämistä, mutta silti investoinnin takaisinmaksuaika ei olisi kovinkaan pitkä. Tuotantokoneiden automaatiota voisi myös lisätä, mutta toisaalta käsityönä valmistetut korkean laadun tuotteet ovat brändin kannalta tärkeitä.

Komponenttivalmistuksessa tai kokoonpanokoneilla ei ole materiaalien kulutuksen mitausta. Mitattaessa kokoonpanokoneella metreittäin käsiteltävät komponentit sarjaa kokoonpantaessa saataisiin tarkempi kuva mihin ja minkä verran materiaaleja käytetään. Myös romutettu komponenttimäärä olisi tarkempi, jonka jälkeen tiedettäisiin rummussa jäljellä olevan komponentin määrä metreittäin. Tietoa voisi hyödyntää esimerkiksi materiaalitilauksia tehdessä. Myös ylijääneiden komponenttien määrät tiedettäisiin paremmin kuin vain silmämääräisesti arvioituna.

6.2.2 Tehtaan layoutin kehittäminen

Tehtaalla komponenttien varastointitilat ovat pirstaloituneena ympäri tehdasta monessa kerroksessa. Leanin mukaisesti varastointi on tuhlausta [7, s. 29]. Jos varastoja kuitenkin tarvitsee välttämättä olla tasapainottamassa tuotantoprosessin vaihteluita, olisi varastojen sijainteja optimoitava siten, että materiaalien kuljettamiseen kuluu mahdollisimman vähän aikaa. Yksi vaihtoehto olisi varastoida kaikki komponentit samaan lokaatioon, josta ne tarpeen vaatiessa haettaisiin koneelle. Varastojen sijaintien lisäksi materiaali-vastaavien työskentelyä voisi tehostaa paremmalla ohjaamisella. Ohjaamaton toiminta sisältää paljon tuhlausta, esimerkiksi edestakaista liikkumista ja tavaroiden etsimistä. WMS-järjestelmällä saadaan tavaroiden etsimiseen käytettyä aikaa pienennettyä, mutta edelleenkin ei keräilyreittejä optimoida millään tavalla. Tämä aiheuttaa väistämättä hukkaa ainakin satunnaisesti.

Tietyt osakokoonpanot valmistetaan ja myöhemmin käytetään kokoonpanossa samassa fyysisessä tilassa. Nykyisin materiaalivirta osakokoonpanosta kokoonpanoon on hoidettu kärryillä, jotka täytetään osakokoonpanossa ja siirretään muutaman metrin päähän kokoonpanopisteelle. Kärryt vievät paljon tilaa ja välillä niiden sijoittelu työpisteen viereen tukkii kulkureitit työpisteiden välistä. Täynnä olevat kärryt ovat raskaita, ja niiden liikuttelu on työlästä. Komponenttien siirtämisessä olisi mahdollista hyödyntää esimerkiksi kattokuljettimia, samaan tapaan kuin tuotetyypin 1 kokoonpanovaiheiden välissä. Mikäli tarvetta suurempien määrien varastoinnille olisi, osakokoonpanoja voisi varastoida 2-3 kerrosta päällekkäin tilan korkeudesta johtuen. Kuljettimilla osakokoonpanot voisi kuljettaa suoraan valmistuksesta kokoonpanoon, jolloin tuotanto olisi virtaavampaa. Tällöin säästyisi tehtaan lattialla tilaa ja operointi olisi helpompaa, kun komponentteja varten ei olisi paljon tilaa vieviä kärryjä.

6.2.3 Vaihtoehtoisia toimintatapoja

Kaikki komponentit valmistetaan tilauksesta. Komponentit ovat erilaisia eri sarjoihin, mutta joitakin komponentteja voidaan käyttää ristiinkin. Osa komponenteista on monelle

tuotteelle samanlaisia, jolloin niitä voitaisiin ajatella volyymituotteina, joita varastosta otetaan tarvittava metrimäärä. Kun kyseisen komponentin varastosaldo lähestyy kriittistä rajaa, tilattaisiin lisää vakiomäärä kanban-tyylisesti. Tällöin alkuvalmistuksessa ja komponenttivalmistuksessa tuotevaihtojen määrä vähenisi, kun kerralla valmistettaisiin isompia sarjoja. Myös laatupoikkeamien tapauksessa voitaisiin varastosta hakea tarvittava määrä lisää, eikä tarvitsisi välittää vaikutuksesta toiseen sarjaan. Haasteena tosin on erilaisten komponenttien määrä, jolloin samoja komponentteja ei sellaisenaan välttämättä voi kovin moneen tuotteeseen käyttää.

Jos nykyään toimintatavoissa havaitaan haasteita tai operaattoreille on tarvetta jotakin asiaa informoida, uusi ohjeistus tai huomio toimitetaan työkoneille kirjallisessa muodossa, eikä ohjeiden noudattamista sen tarkemmin valvota. Usein asia kuitataan sillä, että ohje on toimitettu ja vastuu on sen jälkeen lukijalla eli tuotannon operaattorilla. Tämä myös johtaa väistämättä siihen, että koneiden ympäristöt alkavat muistuttaa ilmoitustauluja, joissa on uusia ja vanhoja ilmoituksia sekaisin. Sitä ei tiedä kukaan, kuinka moni operaattori on ohjeet lukenut, eikä ole myöskään tietoa, kuinka moni lukijoista on ohjeet kerralla ymmärtänyt. Koneiden ympäristöjen ollessa likaisia ja täynnä työkaluja, komponentteja ja muuta tavaraa, ei operaattori välttämättä edes huomaa työohjetta. Edellä kuvattuun ongelmaan eräs ratkaisu olisi työohjeiden ja huomioiden jakaminen työpisteille sähköisesti. Sähköinen alusta mahdollistaisi esimerkiksi lukukuittauksen, jolloin työntekoa voisi jatkaa vasta kun ohje on luettu tai ohjeet voisi jakaa videomuodossa.

Yrityksessä prosesseja on kuvattu hyvin huonosti. Prosessien kuvaaminen selkeyttää etenkin uusia työntekijöitä, mutta myös kokeneemmille työntekijöille tulee usein tilanteita, joissa toimintatapa ei ole selvillä. Ongelmaksi muodostuu, kun ei ole tietoa, miten toimia ja oikeastaan kukaan ei tunnu tietävän, miten kuuluisi toimia. Tällaisissa tilanteissa kysyjää usein pompotellaan kysymään joltain tietyltä henkilöltä ja sen jälkeen seuraavalta ja niin edelleen. Tilanteet ovat usein sellaisia, että niihin myöhemmin törmää joku muu. Työntekijöiltä kuluu runsaasti aikaa, kun jokainen joutuu itse selvittämään, miten tulisi toimia, kun optimaalisessa tilanteessa löytyisi selkeä ohje, miten toimitaan. Ohjeiden puuttumiseen törmää varsinkin käytännön asioiden hoidossa: miten työajanseuranta toimii, miten tilataan uudet turvakengät tai mitä perehdytysmateriaaleja uuden työntekijän kuuluu täyttää. Nämä koskevat jokaista työntekijää, ja selkeät ohjeet helpottaisivat valtavasti.

7. YHTEENVETO

Tutkittu kohdeyritys on tiettyjen tuotteiden kilpailussa markkinajohtaja ja tuoteteknologian edelläkävijä. Suomessa valmistetuissa tuotteissa laatu on korkea, mikä näkyy myös tuotteiden hinnoissa. Kuitenkin kysyntää on enemmän kuin tehdas pystyy nykyisellään valmistamaan. Strategiaan kuuluu markkina-aseman laajentaminen uusille tuotealueille ja entistä useamman asiakkaan kokonaisvaltainen palvelu. Pysyäkseen markkinajohtajana ja kasvattaakseen markkinaosuuttaan on yrityksen välttämätöntä uudistua ja päivittää osin jo vanhentuneita käytäntöjään. Tehtaan laajentamisen käydessä hankalaksi on parempaa tuottavuutta haettava nykytuotantoa rajusti tehostamalla. Tämä edellyttää tuotantokoneiden päivittämistä, toimintatapojen päivittämistä, uuden henkilöstön palkkaamista ja tiedon liikkumisen siirtämistä paperisesta digitaaliseksi.

Diplomityön tutkimuksen aikana havaittiin useita haasteita komponenttien materiaalivirtaan liittyen, joihin on esitetty ratkaisuksi WMS-järjestelmän käyttöönottoa. Tuotannon digitalisoinnilla on mahdollista tehostaa tuotantoa, muun muassa datan tarkemmalla ja laajemmalla keräämisellä sekä sen reaaliaikaisella jakamisella. Digitaalisuus tai data tuotantoprosessista itsessään ei yritykselle tuo lisäarvoa, mutta sitä analysoimalla voidaan havaita ongelmakohtia ja kehityskohteita prosessissa. Tuotannon kehittämisprojektien onnistumistodennäköisyys kasvaa mitä tarkemmin tutkitaan ongelmien juurisyitä. Tärkeää on ratkaista juurisyitä oireiden peittämisen sijaan.

Yrityksen työntekijäportaassa vallitsevassa ilmapiirissä yleensä digitaaliset ratkaisut nähdään enemmän työtä vaikeuttavana uhkana kuin mahdollisuutena. Kuitenkin haastatteluiden perusteella vastustusta WMS-järjestelmän aiheuttaminen muutosten tekemiseen työntekijöiden keskuudessa ei liioin ole, sillä tavaroiden hukassa olemiseen ja niiden etsimiseen on myös työntekijöiden keskuudessa kyllästytty. Työntekijöiden motivaation ylläpitäminen on tärkeää, koska työntekijät ovat yrityksen tärkein resurssi. Siksi isot muutokset täytyy tehdä hienovaraisesti, että loppukäyttäjien motivaatio ei laske. Myös ennen isojen muutosten tekemistä huolellinen valmistelu ja testaaminen on tarpeen, jotta keskeneräisiä tuotteita ei viedä käytettäväksi. Palautteen suoraan antamiseen tulee myös rohkaista työntekijöitä, jotta palaute ei kierrä monen mutkan kautta ja muutu matkalla.

Tutkittava haaste on laaja, ja myös tässä diplomityössä siihen esitetty ratkaisu on iso muutos. Joidenkin komponenttien varastointiin ei ole yhtä oikeaa ratkaisua, vaan niissä

joudutaan tekemään kompromisseja. Ohjelmaan tulevien muutoksien teknisiä toteutusmahdollisuuksia ei ole vielä arvioitu, joten suuremmat muutokset voivat ohjelman toimittajalta viedä pitkänkin ajan. Diplomityössä esitetty ratkaisuehdotus vaatii ohjelman kehittämistä, sen käytön opettelun ja käyttökuntoon saattamisen, huolellisen testaamisen, ohjelman käyttämisen koulutukset, mutta myös uuden toimintatavan opettamisen loppukäyttäjille. Kuitenkin nähtävissä olevat hyödyt ovat sen verran laajat, että tähän mahdollisuuteen yrityksen kannattaa tarttua.

LÄHTEET

- [1] Torres J, Wysk R, Santos J. Improving Production with Lean Thinking. Wiley; 2006. 1–17 p.
- [2] Haverila M, Uusi-Rauva E, Kouri I, Miettinen A. Teollisuustalous. Infacs Oy; 2009. 510 p.
- [3] Järvenpää E, Lanz M, Tokola H, Salonen T, Koho M. Production planning and control in Finnish manufacturing companies – Current state and challenges. In 2015.
- [4] Järvenpää E, Lanz M, Toivonen V, Tokola H, Seilonen I, Salonen T, et al. Tuottavuusloikka tuotannossa: Digitaalista tuotantoa MES: n avulla. 2016;
- [5] Lapinleimu I. Ideaalitehdas. Tampereen teknillinen korkeakoulu; 2001. 197 p.
- [6] Arcidiacono G, Calabrese C, Yang K. Leading processes to lead companies: Lean Six Sigma. Springer; 2012. 345 p.
- [7] Liker JK. The Toyota Way. McGRAW-HILL Book Company; 2004. 330 p.
- [8] Magee JF, Boodman DM. Production Planning and Inventory Control. 2nd edition. McGRAW-HILL Book Company; 1967. 393 p.
- [9] Modig N, Åhlström P. This is lean - resolving the efficiency paradox. Rheologica Publishing; 2013. 168 p.
- [10] Stevenson WJ. Operations Management. McGRAW-HILL Book Company; 2018. 890 p.
- [11] Dahlgaard JJ. Lean production, six sigma quality, TQM and company culture. TQM Mag. 2006;18(3):263–81.
- [12] Karjalainen J, Blomqvist M, Suolanen O. Kehittyvä toiminnanohjaus. Metalliteollisuuden keskusliitto; 2001. 88 p.
- [13] Bhasin S. Lean Management Beyond Manufacturing. Springer; 2015. 291 p.
- [14] Demeter K, Matyusz Z. The impact of lean practices on inventory turnover. Int J Prod Econ [Internet]. 2011;133(1):154–63. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijpe.2009.10.031>
- [15] Lean Enterprise Institute | Lean Production | Lean Manufacturing | Lean Services [Internet]. 2019. Available from: lean.org
- [16] Tangen S. Demystifying productivity and performance. Int J Product Perform [Internet]. 2004;54(1). Available from: <http://www.rafiiezadeh.ir/docs/articles/2-1.pdf>
- [17] Britannica Academic: Inventory [Internet]. 2019. Available from: <https://academic-eb-com.libproxy.tuni.fi/levels/collegiate/article/inventory/42657>

- [18] Farahani RZ, Rezapour S, Kardar L. Logistics Operations and Management. Elsevier; 2011. 486 p.
- [19] ten Hompel M, Schmidt T. Warehouse Management. Springer; 2007. 365 p.
- [20] de Koster R, Le-Duc T, Roodbergen KJ. Design and control of warehouse order picking: A literature review. Eur J Oper Res. 2007;182:481–501.
- [21] Kirjanpitoasetus [Internet]. 1997. Available from: <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1997/19971339>
- [22] Ihantola E-M, Leppänen P. Yrityksen kirjanpito - liiketapahtumasta tilinpäätökseen. Gaudeamus Oy; 2018. 343 p.
- [23] Taloushallintoliitto: Varaston inventointi [Internet]. [cited 2019 Aug 14]. Available from: <https://taloushallintoliitto.fi/kirjanpidon-abc-mita-jokaisen-tulisi-tietaa-kirjanpidosta/tilikausi-ja-tilinpaatos/varaston>
- [24] Fawcett SE, Ellram LM, Ogden JA. Supply Chain Management. Pearson Education Limited; 2014. 520 p.
- [25] Blommestein F Van, Ilie-zudor E, Keme Z. A survey of applications and requirements of unique identification systems and RFID techniques. 2011;62:227–52.
- [26] Finkenzeller K. RFID HANDBOOK. 3rd ed. John Wiley & Sons Inc; 2010. 480 p.
- [27] Lin J, Fuh C. 2D Barcode Image Decoding. 2013;2013(3).
- [28] Maleki RA, Meiser G. Managing Returnable Containers Logistics - A Case Study Part II. Int J Eng Bus Manag. 2011;2(2):45–54.
- [29] Carroccia G, Maselli G. Inducing Collisions for Fast RFID Tag Identification. 2015;19(10):1838–41.
- [30] Lahiri S. RFID Sourcebook. IBM Press; 2006. 304 p.
- [31] Langevin A, Riopel D. Logistics Systems: Design and Optimization. Springer; 2005. 401 p.
- [32] Choi T, Govindan K, Ma L. Logistics Systems Optimization under Competition. Math Probl Eng. 2015;
- [33] Enterprise Control System Integration Part 3 : Activity Models of Manufacturing Operations Management. 2005.
- [34] Unver HO. An ISA-95-based manufacturing intelligence system in support of lean initiatives. Int J Adv Manuf Technol. 2013;65(853–866).
- [35] ISA Standards: Numerical Order [Internet]. Available from: <https://www.isa.org/standards-and-publications/isa-standards/find-isa-standards-in-numerical-order/>
- [36] Kivikunnas S, Heilala J. Tuotantosimuloinnin tietointegraatio - standardikatsaus. VTT Work Pap. 2011;

- [37] Bolton W. Programmable Logic Controllers. 5th editio. Elsevier; 2009. 400 p.
- [38] Cooper RG, Kleinschmidt EJ. New Product Processes at Leading Industrial Firms. *Ind Mark Manag.* 1991;147:137–47.
- [39] Cooper RG. Stage-Gate Systems: A New Tool for Managing New Products. *Bus Horiz.* 1990;199(Hopkins).
- [40] Sjöholm H. Teknologia ja kilpailukyky: työkalu yrityksille teknologiastrategian laadintaan. Tekes; 2001. 39 p.
- [41] Järvinen P, Järvinen A. Tutkimustyön metodeista. 2018;1–215.
- [42] Opinnäytetyön kirjoitusohje tekniikan alalla. 2019;
- [43] Chism NVN, Douglas E, Hilson WJ. Qualitative Research Basics: A Guide for Engineering Educators. *Eng Educ* [Internet]. 2008;1–65. Available from: <http://cleerhub.org/resources/8>
- [44] Tuomi J, Sarajärvi A. Laadullinen tutkimus ja sisällön analyysi. Tammi; 2018. 156 p.
- [45] Tiainen T. Haastattelu tietojenkäsittelytieteen tutkimuksessa. *INFORMAATIOTIETEIDEN YKSIKÖN Rap.* 2014;25.
- [46] Hyvärinen M, Nikander P, Ruusuvuori J. Tutkimushaastattelun käsikirja. Vastapaino; 2017. 394 p.
- [47] Leanware Oy: Leanware Inventory Management - toiminnallinen määrittely. 2018;
- [48] Engineering DC, Jun B. Reduce human errors: Get out of the typing pool. 2012;(Jun):1–4.